



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – ESTRUCTURAS

ESTUDIO PARAMÉTRICO DE CURVAS DE VOLTEO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
MICHELLE BOURGUETT ESTRADA

TUTORES PRINCIPALES
DR. EDUARDO REINOSO ANGULO
Instituto de Ingeniería
DR. CESAR AUGUSTO ARREDONDO VÉLEZ
E.R.N y Antropogénicos, SA de CV

Ciudad Universitaria, CD. MX, noviembre de 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Esteva Maraboto Luis
Secretario: Dr. Pozos Estrada Adrián
1 er. Vocal: Dr. Reinoso Angulo Eduardo
2 d o. Vocal: Dr. Niño Lázaro Mauro Pompeyo
3 er. Vocal: Dr. Arredondo Vélez César Augusto

Ciudad Universitaria, CD. MX

TUTORES DE TESIS:

DR. EDUARDO REINOSO ANGULO

FIRMA

DR. CESAR AUGUSTO ARREDONDO VÉLEZ

FIRMA

DEDICATORIAS

Le dedico el resultado de este trabajo a toda mi familia.

A mis padres que me apoyaron en todo momento, gracias por enseñarme a afrontar las dificultades sin perder nunca la cabeza ni morir en el intento.

A mi hermana, por su comprensión, por su fuerza, por su amor y por ser tal como es, en ella tengo el espejo en el cual me quiero reflejar, pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarla cada día más.

A mis tutores, quienes siempre continuaron depositando su confianza en mí.

A todos los que me apoyaron para poder concluir esta tesis.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	6
1.RESUESTA DINÁMICA DE CUERPOS RIGIDOS: BALANCEO Y VOLTEO.....	8
1.1. MODELO SIMPLIFICADO DE CUERPOS RÍGIDOS.....	8
1.2. CUERPOS DE FORMAS ARBITRARIAS O MASA VARIABLE.....	10
1.3. FUNCIONES ARMÓNICAS	12
1.4. MOVIMIENTOS SÍSMICOS HISTÓRICOS	14
2. MODELO NUMÉRICO PARA ANALIZAR EL BALANCEO Y VOLTEO DE CONTENIDOS.....	17
2.1. ESTRUCTURACIÓN DEL CÓDIGO.....	17
2.2. RESULTADOS ADICIONALES OBTENIDOS.....	23
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	28
3.1. CURVAS DE VOLTEO PARA MOVIMIENTOS ESCALADOS A UNA MISMA ACELERACIÓN, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO	28
3.2. CURVAS DE EQUI-INTENSIDAD.....	36
3.2.1. CURVAS DE EQUI-ACELERACIÓN	37
3.2.2. CURVAS DE EQUI-VELOCIDAD	42
3.2.3. CURVAS DE EQUI-DESPLAZAMIENTO.....	45
3.2.3 CURVAS DE EQUI-INTENSIDAD DE ARIAS NORMALIZADA	47
3.3. CURVAS DE EQUI-EXCENTRICIDAD.....	49
4. AYUDAS DE DISEÑO PARA USO EN INGENIERIA PRÁCTICA.....	53
4.1. EQUI-ACELERACIÓN.....	53
4.2. EQUI-VELOCIDAD	58
4.3. EQUI-DESPLAZAMIENTO	60
4.4. EQUI-INTENSIDAD DE ARIAS NORMALIZADA.....	62
5. COMPARACIÓN CON RESULTADOS EXPERIMENTALES	67
5.1. PRUEBAS EXPERIMENTALES EN MESA VIBRADORA.....	67
5.2. COMPARACIÓN CON MOVIMIENTOS ARMÓNICOS	71
6. CONCLUSIONES	75
BIBLIOGRAFÍA.....	76

RESUMEN

En este trabajo se estudió el comportamiento dinámico de contenidos, modelados como bloques rígidos sin ningún tipo de anclaje, con condiciones regulares e irregulares de distribución de masa. Como modos de respuesta solamente se analizaron los casos de balanceo y volteo bajo excitaciones de funciones analíticas (seno, pulso de Ricker y MSAV) y de algunos registros históricos de sismos que causaron daños en contenidos.

El estudio se dividió en tres fases principales:

- Fase I. Obtención de curvas de volteo para movimientos armónicos y señales de sismos históricos escalados a una misma aceleración, velocidad y desplazamiento, siempre considerando una frecuencia variable.
- Fase II. Obtención de curvas de equi-intensidad. Se entiende como una curva de equi-intensidad, aquella en la que todos sus puntos corresponden a las semi-dimensiones de cuerpos (semi-base, b , y semi-altura, h) que fallaron por volteo a una misma intensidad (aceleración, velocidad, desplazamiento o intensidad de Arias) independientemente de la amplitud máxima de la excitación a la que se encontraron sometidos.
- Fase III. Obtención de curvas de equi-excentricidad. Estas se entienden como curvas en las que todos sus puntos corresponden a las semi-dimensiones de cuerpos que fallaron por volteo, los cuales presentan la misma relación de excentricidad horizontal.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la importancia que se le da al daño por volteo en contenidos provocado por eventos sísmicos es cada vez mayor, dado que en algunas ocasiones a pesar de que el sistema estructural se comporta de manera apropiada, el daño en éstos provoca gastos de reparación considerables con respecto al valor total de la estructura y/o pérdida de operatividad, como puede ser en el caso de un hospital o de un almacén de barricas de vino. Además de que, en una situación de emergencia el volteo de estos podría provocar que la evacuación del inmueble se vuelva muy complicada o incluso imposible; asimismo, en el contexto industrial, el volteo de ciertos equipos o instrumentos especializados podría provocar que se derramaran sustancias tóxicas provocando incendios, heridos o incluso pérdidas humanas, aparte de la gran pérdida económica que se generaría al detener las actividades. La Figura 1.1 muestra algunos sitios donde recientemente han ocurrido pérdidas asociadas al daño de contenidos y ante eventos sísmicos.

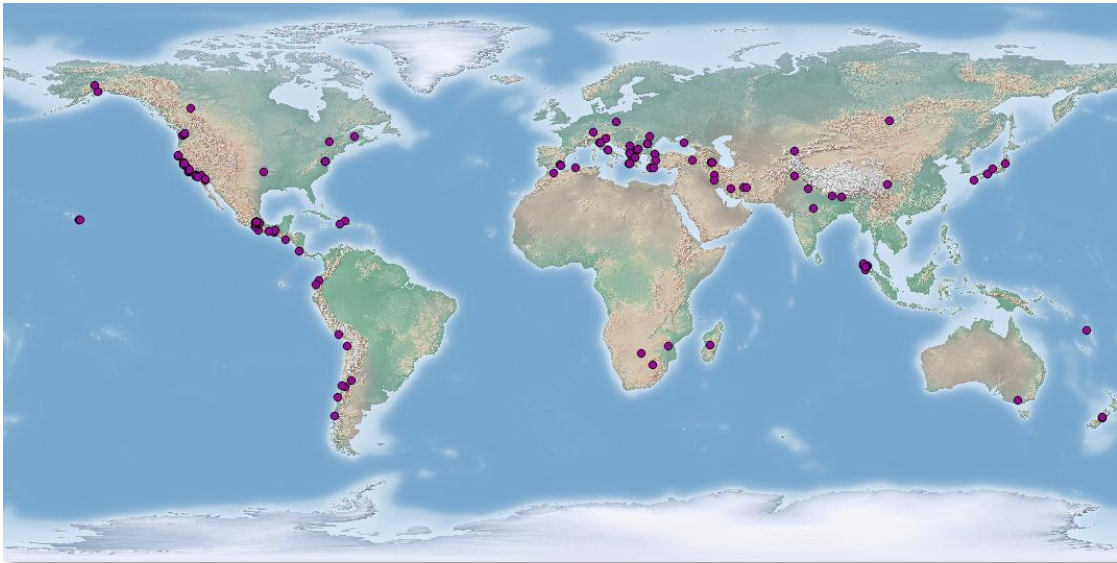


Figura 1.1. Mapa que muestra sitios donde ha habido daños a contenidos por eventos sísmicos.

Puesto que en los códigos de diseño que se encuentran vigentes la importancia que se le concede a los contenidos dentro de una estructura es poca, es necesario que se instauren nuevas normas que garanticen la seguridad tanto de los contenidos como del efecto de estos en los usuarios.

Es por esto que, surge la necesidad de analizar entre otras cosas, el comportamiento dinámico bidimensional de los contenidos ante distintas excitaciones, ya que el ingeniero debe estar al tanto de las demandas de vibraciones a las que están y estarán expuestos en un futuro los distintos tipos de contenidos dentro de un edificio y entonces, tomar decisiones de protección, reubicación y/o mitigación al respecto.

El objetivo principal de este trabajo es realizar un análisis exhaustivo de los parámetros involucrados en el volteo de contenidos no anclados y, a través de la definición de zonas críticas por volteo, proponer ayudas de diseño para el uso en la ingeniería práctica; tal es el caso de ábacos y/o expresiones para condiciones regulares e irregulares (por geometría y/o distribución de masa).

Finalmente, se busca que contando con ayudas como la que se pretende proponer, el ingeniero no especializado en estos temas pueda llevar a cabo un diseño/revisión prudente y confiable de los contenidos de una estructura, de una forma rápida y eficiente sin la necesidad de realizar pruebas de laboratorio o análisis complejos para todos los casos que se pudieran presentar en el sitio.

En el **Capítulo 1** se describe el modelo empleado para analizar el comportamiento de cuerpos rígidos, así como los diferentes parámetros involucrados en el análisis. También se detallan los distintos modos de respuesta desde el reposo que el cuerpo puede presentar, al mismo tiempo que se comentan algunos de los trabajos precedentes sobre el balanceo y volteo de cuerpos rígidos.

Además, se hace un breve resumen de los tipos de señales que se emplearon en el análisis, se puntualizan sus características y los niveles de intensidad empleados. Igualmente, se exponen las diferentes consideraciones que se tomaron para hacer el análisis en cuerpos simétricos y cuerpos con distribuciones arbitrarias de masa.

En el **Capítulo 2** se describe brevemente la estructuración y consideraciones que se tomaron para el código del programa de cálculo, todo esto, mediante un diagrama de flujo detallado. Además, se presentan algunos resultados referentes y las historias de aceleración, velocidad y desplazamiento angulares asociadas a las respuestas de los objetos analizados.

En el **Capítulo 3** se realizó una síntesis de los resultados obtenidos a partir de curvas de volteo tradicionales y de gráficas de equi-intensidad y equi-excentricidad derivadas del análisis anterior.

En el **Capítulo 4** se plantea el procedimiento para emplear las herramientas de diseño propuestas.

En el **Capítulo 5** se hizo una comparación de los resultados numéricos obtenidos con el programa de computo desarrollado y los resultados asociados a pruebas de volteo realizadas en la mesa vibradora de la Universidad nacional Autónoma de México (Arredondo, 2006).

1. RESPUESTA DINÁMICA DE CUERPOS RÍGIDOS: BALANCEO Y VOLTEO

En los últimos años se han propuesto diferentes criterios para calcular la probabilidad de falla (volteo), así como criterios para conocer las condiciones necesarias para iniciar diferentes modos de respuesta partiendo del reposo.

Estos trabajos han producido herramientas importantes para el análisis del comportamiento dinámico de un cuerpo rígido, sin embargo, la mayoría de éstos no evidencian la importancia que tienen cambios en parámetros como la frecuencia e intensidades pico, y el tipo de excitación a la cual está sometido el cuerpo que podrían provocar que su comportamiento sea muy diferente a lo esperado; asimismo, los parámetros empleados para la modelación del cuerpo no consideran que éste podría presentar irregularidades en masa y/o geometría, lo cual también modificaría de manera importante su respuesta.

Dependiendo de las características de la excitación a la que se somete a un cuerpo, este puede comportarse de diferentes maneras. Existen cuatro posibles modos de respuesta de un cuerpo rígido soportado por una superficie plana y horizontal: reposo, deslizamiento, deslizamiento – balanceo y balanceo; en este caso, solo se estudiará el modo de respuesta de balanceo por lo que se asume que el coeficiente de fricción μ es suficientemente grande como para que no exista deslizamiento y como modo de falla dominante el volteo.

1.1. MODELO SIMPLIFICADO DE CUERPOS RÍGIDOS

De investigaciones anteriores [Housner, 1963; Makriss y Roussos, 1998; Arredondo, 2006], se conoce que, se debe emplear una formulación no lineal para describir el fenómeno y además, se debe hacer con respecto a su centro de masa y en función de sus características geométricas e inerciales; es decir, el momento de inercia rotacional ($J_o = I_x + I_y$), la distancia del centro de masa del bloque a uno de sus puntos de apoyo ($R^2 = b^2 + h^2$), la esbeltez $\alpha = \tan^{-1}(b/h)$, los parámetros $B = 2b$ ($b = b_L$ o $b = b_R$) y $A = 2h$ ($h = Y_{cm}$), que corresponden al ancho y a la altura total de un cuerpo simétrico, respectivamente, así como de la historia de aceleraciones en su base \ddot{x}_g y el giro en cada instante $\theta(t)$.

Se sabe que, durante el balanceo un cuerpo rígido oscilará entre sus dos centros de rotación O y O' (Figura 1.2) y el parámetro de esbeltez estará dado por $\alpha = \tan^{-1}(b/h)$; adicionalmente, se conoce que bajo una excitación horizontal positiva cuya magnitud es suficientemente grande (Kounadis, 2009), el cuerpo inicialmente comenzará a balancearse con una rotación negativa ($\theta < 0$) y si no falla por volteo eventualmente asumirá una rotación positiva y así seguirá variando sucesivamente (Figura 1.3.a). En cambio, si la excitación es moderada el cuerpo iniciará el balanceo con una rotación positiva ($\theta > 0$) y al igual que en el caso anterior si no presenta volteo asumirá una rotación negativa y así sucesivamente (Figura 1.3. b).

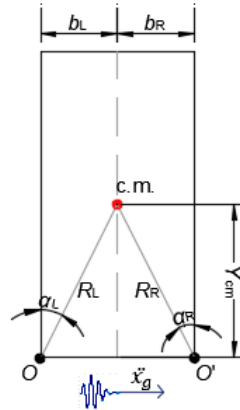


Figura 1.2. Características geométricas de un bloque rígido.

Se considera que existe una aceleración de balanceo (Santa Cruz et al., 2000), la cual se define como la aceleración mínima que se debe de alcanzar en la base del cuerpo para iniciar el balanceo, es decir $ab = g^*(b/h)$ (Scalia, Sumbatyan, 1996; Shenton, 1996).

A continuación, se presentan las ecuaciones que gobiernan el balanceo bajo una excitación horizontal x_g'' . En las ecuaciones 1 y 2 se describe el movimiento dependiendo del sentido del giro del cuerpo, la ecuación 3 es una versión acoplada de las dos anteriores (Arredondo, 2006) y fue la que se consideró para el análisis.

$$I_0 \ddot{\theta} + mgR \sin(-\alpha - \theta) = -m\ddot{x}_g \cos(-\alpha - \theta) \text{ para } \theta < 0 \quad (1)$$

$$I_0 \ddot{\theta} + mgR \sin(\alpha - \theta) = -m\ddot{x}_g \cos(\alpha - \theta) \text{ para } \theta > 0 \quad (2)$$

$$(mJ_0 + mR^2)\theta'' = mR \cos(\alpha - |\theta|) x_g'' - S(\theta) mR g \sin(\alpha - |\theta|) \quad (3)$$

La pérdida de energía debido al impacto entre el cuerpo y la base se considera por medio de la expresión clásica dada por Housner (1963) del coeficiente de restitución, el cual depende de las características geométricas de cuerpo (esbeltez) y expresa la velocidad angular después del impacto como una fracción de la velocidad angular que tenía antes de este.

$$r = 1 - 1.5 * (\sin(\alpha))^2 \quad (4)$$

La energía total (Kounadis, 2009) debido a la energía cinética del movimiento del bloque (rotación y traslación sobre cualquiera de sus dos centros de rotación, Figura 1.3) y la energía potencial debido a la fuerza externa (m^*g) se expresa:

$$E = \frac{1}{2}J_o\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}m\dot{x}_g^2 + mR\dot{x}_g\theta \cos(\alpha + \theta) + mgR[\cos(\alpha + \theta) - \cos(\alpha)] \text{ para } \theta(t) < 0 \quad (5)$$

$$E = \frac{1}{2}J_o\dot{\theta}^2 + \frac{1}{2}m\dot{x}_g^2 + mR\dot{x}_g\theta \cos(\alpha + \theta) + mgR[\cos(\alpha - \theta) - \cos(\alpha)] \text{ para } \theta(t) > 0 \quad (6)$$

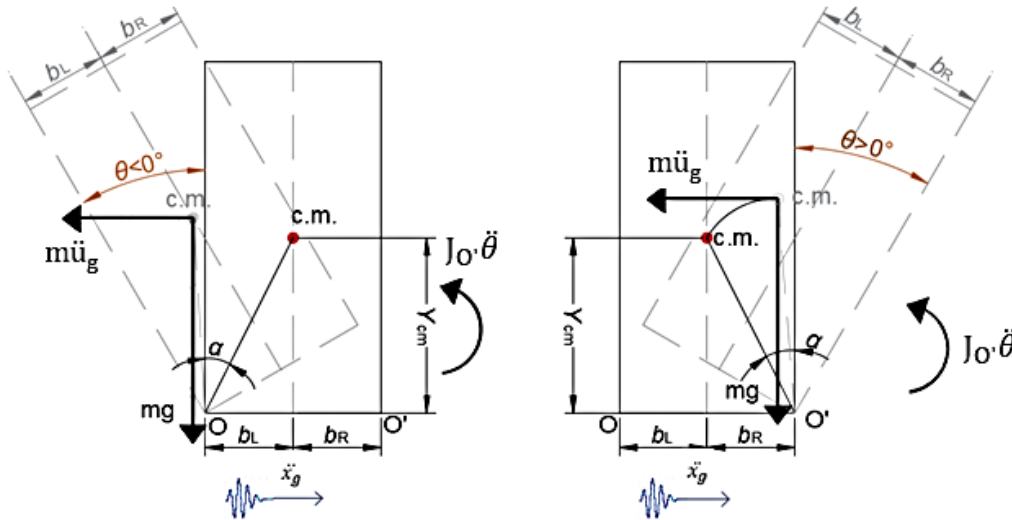


Figura 1.3. Diagrama de cuerpo libre

1.2. CUERPOS DE FORMAS ARBITRARIAS O MASA VARIABLE

Para el caso de cuerpos no simétricos o distribuciones arbitrarias de masa, se han propuesto modificaciones a las expresiones que usualmente se emplean para analizar la respuesta dinámica de cuerpos rígidos simétricos (Boroschek, Romo, 1994; Arredondo et al., 2017; Jaimes et al., 2017); además, se han presentado Figuras (Boroschek, Romo, 1994) en donde se puede observar que los cuerpos irregulares presentan volteo de 2.0 a 3.5 veces más que cuerpos regulares, es decir, éstos son más vulnerables a fallar por volteo.

Para poder analizar el comportamiento de cuerpos irregulares, se tomaron en cuenta distintas consideraciones con respecto a los cuerpos simétricos. En este caso, el sentido del giro ($\theta < 0$ o $\theta > 0$) es de suma importancia, dado que, dependiendo de qué lado esté girando, las características geométricas e inerciales a emplear serán diferentes puesto que las semibases $b_R \neq b_L$ modifican su valor.

La expresión empleada para calcular el coeficiente de restitución es modificada incluyendo las características geométricas específicas del cuerpo (Housner, 1963; Purvance, 2005;

Arredondo, et al., 2017); es decir involucra los momentos polares de inercia (ec. 7 y ec. 8) de ambas semi-bases del cuerpo, así como los radios R_R y R_L respecto a su centro de masa:

$$I_R = I_O + m * R_R^2 \quad (7)$$

$$I_L = I_O + m * R_L^2 \quad (8)$$

$$r_R = \frac{1}{I_R} [m * R_L * \sin(\alpha_L) * (R_R * \sin(\alpha_R) + R_L * \sin(\alpha_L))] \quad \text{para } \theta > 0 \quad (9)$$

$$r_L = \frac{1}{I_L} [m * R_R * \sin(\alpha_R) * (R_L * \sin(\alpha_L) + R_R * \sin(\alpha_R))] \quad \text{para } \theta < 0 \quad (10)$$

En la Figura 1.4 se ejemplifica el cambio de propiedades geométricas que tendría el cuerpo dependiendo del lado en el que esté ocurriendo la rotación, se puede notar que la base izquierda b_L es menor que la base derecha b_R y eso provoca que al girar se analice un cuerpo con diferentes dimensiones.

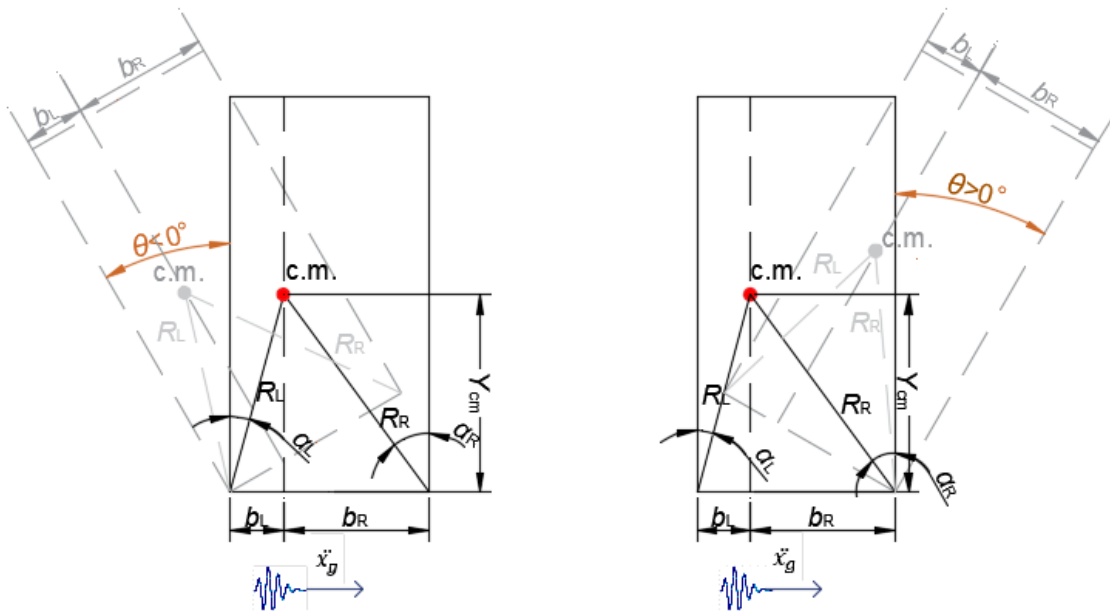


Figura 1.4. a) Rotación negativa ($\theta < 0$)

b) Rotación positiva ($\theta > 0$)

1.3. FUNCIONES ARMÓNICAS

Para el análisis se elaboró un programa y se corrió para cuerpos simétricos y para cuerpos con irregularidades en masa y/o geometría empleando distintos tipos de señales. Las características de éste se explican a detalle en el capítulo 2.

En principio, se emplearon señales armónicas escaladas a una misma aceleración máxima. Posteriormente se procedió a realizar el análisis empleando señales escaladas a la misma velocidad máxima y lo mismo se hizo empleando señales escaladas a un mismo desplazamiento máximo.

Finalmente, se realizó el análisis del volteo de contenidos empleando acelerogramas reales de algunos sismos de los que se tiene registro previo de daños en contenidos; esto con la finalidad de validar/comparar los resultados obtenidos respecto a los asociados a movimientos armónicos analíticos con características similares de amplitud y frecuencia.

Las funciones armónicas empleadas para analizar el comportamiento dinámico de cuerpos rígidos (Figura 1.5) fueron el seno de amplitud constante (ec.11), pulso de Ricker (ec.12) y el movimiento senoidal de amplitud variable (MSAV) (ec. 13); todos estos durante el proceso de análisis fueron simulados para amplitudes máximas entre 0.1g y 1g, con intervalos de 0.1g y, frecuencias entre 2 rad/s y 20 rad/s, con intervalos de 2 rad/s. Se tomó la decisión de considerar estos valores de amplitud y frecuencia (Rathje, 1998) debido a que es consistente con los intervalos que típicamente se encuentran para de distintos tipos de movimientos sísmicos (Tabla 1).

$$x_g = A * \sin(w * t) \quad \text{..} \quad (11)$$

$$x_g = A * (2 * \ddot{a} - 1) * e^{-a} \quad ; a = |0.5 * w * (t - T_s)|^2 \quad (12)$$

$$x_g = 90 * A * t^2 * T_d^{-8} * (\ddot{t} - T_d)^6 * \sin(w * (t - T_d)) \quad (13)$$

Donde A representa la aceleración máxima del movimiento, w la frecuencia angular en rad/s, y t representa el tiempo. En el caso del pulso de Ricker (ec.12), Ts es el tiempo en el que ocurre la aceleración máxima y Td la duración de la parte intensa del movimiento.

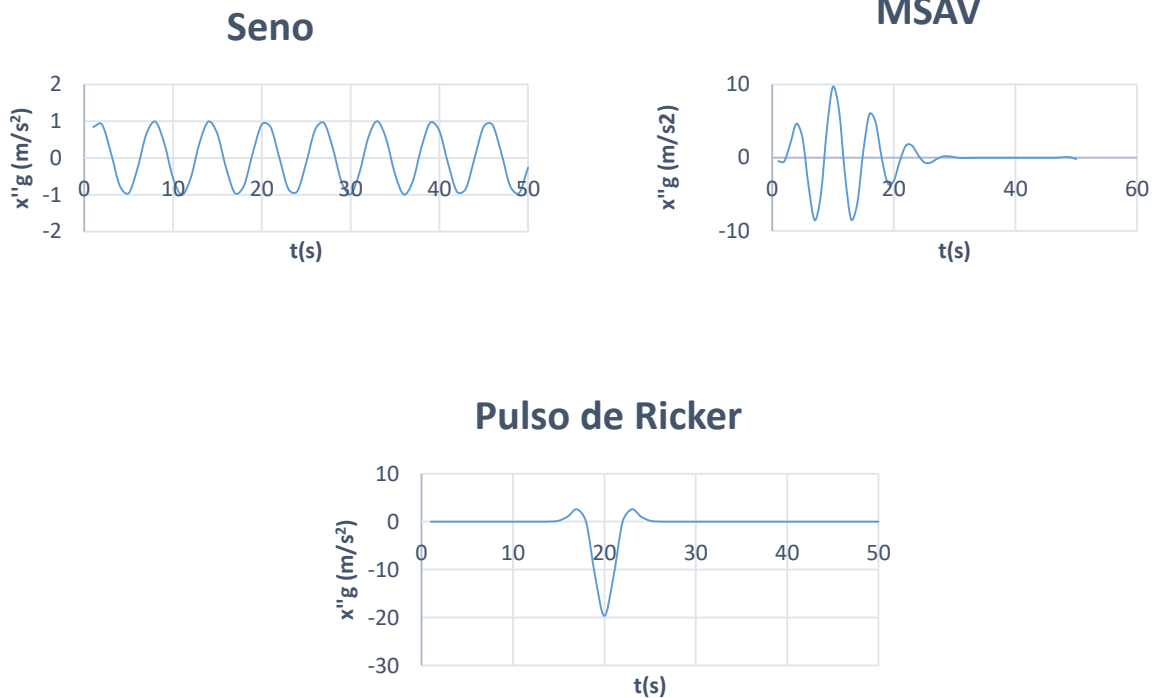


Figura 1.5. Ejemplos de funciones analíticas empleadas en este trabajo $A_{max}=9.81 \text{ m/s}^2$ $w=2\text{rad/s}$.

Se emplearon este tipo de señales armónicas ya que con estas es posible emular sismos de diferentes características. Por ejemplo, el movimiento senoidal de amplitud variable (MSAV) se asemeja a un sismo de fuente lejana en la zona del lago de la Ciudad de México y el pulso de Ricker a un sismo de fuente cercana.

Posteriormente, se procedió a llevar a cabo el escalamiento de estas mismas señales a una misma velocidad máxima, para esto, se tomó como rango de velocidad máxima (V_{max}) desde 0.2 m/s hasta 2 m/s con intervalos de 0.2 m/s.

El procedimiento que se siguió para escalar cada señal a la intensidad correspondiente fue el siguiente:

- Empleando una señal cuyo PGA sea igual 0.981 m/s^2 , se procede a integrar la señal en aceleración para obtener su correspondiente historia de velocidades. Se obtuvo el factor de escala para cada señal dividiendo V_{max} entre su valor máximo de velocidad, por supuesto empleando valores absolutos.
- Se escaló la historia de velocidades multiplicándola por el factor de escala obtenido en el paso anterior.

- Se realizó la integración y derivación numérica para obtener las historias de desplazamiento y aceleraciones correspondientes a esta nueva señal.

Un procedimiento similar se siguió para escalar todas las señales a un mismo desplazamiento máximo. El rango que se utilizó fue de 0.1 m hasta 1 m en intervalos de 0.1 m.

Los intervalos empleados para realizar el escalamiento en términos de la velocidad y desplazamiento se escogieron teniendo en mente los valores que usualmente se encuentran en movimientos sísmicos reales, se tomaron como referencia los presentados en la Tabla 1.1.; así como los que se podrían presentar dentro de una estructura y que además tuvieran un rango suficientemente grande para que el comportamiento de los parámetros fuera claro.

1.4. MOVIMIENTOS SÍSMICOS HISTÓRICOS

A continuación, se presenta una lista de los eventos sísmicos que fueron empleados en este análisis, así como sus principales características.

Tabla 1.1. Movimientos sísmicos empleados

Fecha	Sismo	Estación	PGA(m/s ²)	PGV (m/s)	PGD(m)	w-Rathje (rad/s)	w-Fourier (rad/s)
18/10/1989	Loma prieta	CAP090	4.35	0.29	0.053	9.49	9.66
17/08/1999	Kocaeli	DZC270	3.51	0.46	0.12	3.37	3.37
28/06/1992	Big Bear	HOS180	0.99	0.15	0.15	3.61	3.6
28/06/1992	Landers	JOS090	2.79	0.43	0.14	8.61	8.67
16/01/1995	Kobe	KJM000	8.06	0.89	0.15	9.05	8.97
19/09/17	Puebla	CH84	2.25	0.51	0.29	5.34	4.51

19/09/85	Michoacán	ZACA	2.62	0.36	0.84	19.29	8.28
08/09/17	Chiapas	XO36	0.5756	0.028	0.5	2.2610	1.86
27/02/10	Chile	ANGOL	9.166	0.34	0.056	30.65	34.47
19/06/12	Guerrero	SJLL	10.73	0.44	0.0624	34.27	33.41
12/01/12	Haití	CU SDDR	0.11	0.018	0.016	9.28	6.96
15/10/06	Hawaii	Waimea,HI	10.01	0.41	0.026	37.99	33.63
15/10/79	Imperial Valley	EL CENTRO	6.42	0.51	0.15	16.44	4.67
06/04/09	Italia	AQV	6.47	0.40	0.067	32.88	16.29
25/04/89	México	OCTT	2.011	0.083	0.16	35.72	39.57
17/01/94	Northridge	TARZANA - CEDAR HILL NURSERY A	17.44	1.09	0.30	26.06	17.33
21/02/11	Nueva Zelanda	HVSC	14.26	0.96	0.15	24.13	13.65
19/09/85	Michoacán	SCT19	1.751	0.63	0.58	3.21	3.14

En la Figura 1.6 se muestra la ubicación geográfica de los sismos mencionados en la Tabla 1.1.

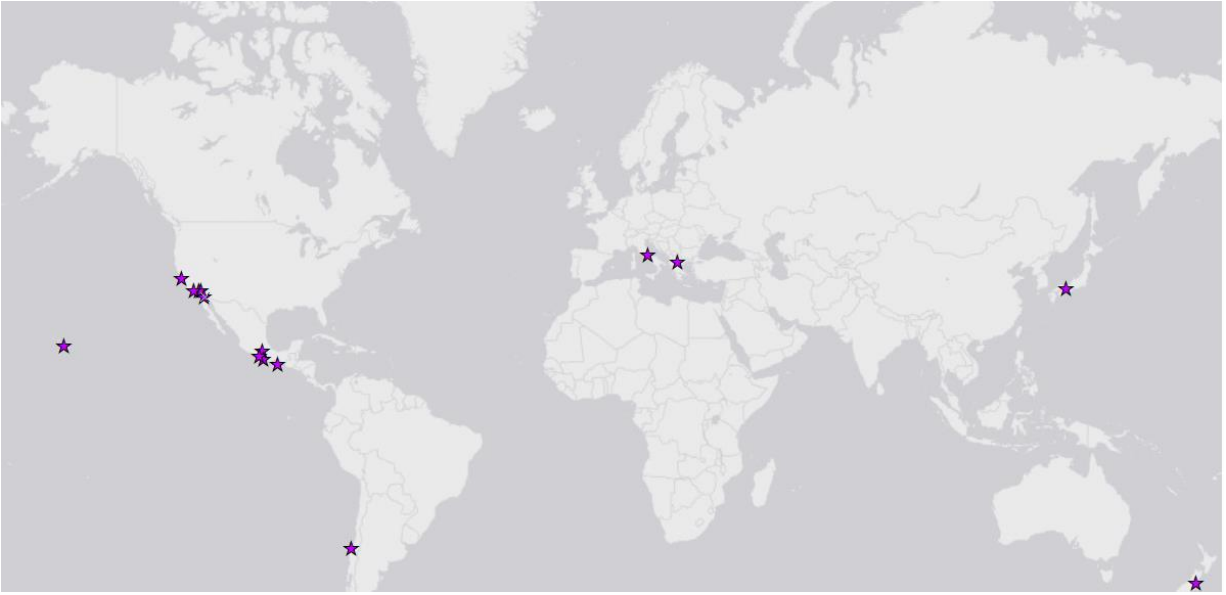


Figura 1.6. Ubicación geográfica de los sismos empleados.

2. MODELO NUMÉRICO PARA ANALIZAR EL BALANCEO Y VOLTEO DE CONTENIDOS

Para poder realizar el análisis del comportamiento dinámico de cuerpos rígidos, específicamente el balanceo y volteo, se tuvo la necesidad de crear dos diferentes programas: uno para analizar el caso de cuerpos regulares, es decir cuando $b_L=b_R$, y un segundo código para los casos en los que $b_L \neq b_R$.

Ambos programas consideran la semi-altura h como la distancia que hay hasta el centro de masa del cuerpo y únicamente analizan el caso en el que el modo de respuesta desde el reposo corresponde al balanceo y posteriormente, el modo de falla es el volteo. Los resultados a obtener se refieren a las curvas de volteo tipo, propuestas previamente por Makris (2001), que representan el universo de cuerpos rectangulares regulares que podrían volcar ante un movimiento específico.

2.1. ESTRUCTURACIÓN DEL CÓDIGO

Para poder hacer uso de cualquiera de los dos programas se tienen que definir previamente algunos datos de entrada, como el tipo de excitación que se desea analizar (pulso de Ricker, MSAV, MSAC o sismo), la duración total del movimiento (T_d) y los incrementos de tiempo a analizar (dt). Para el caso de que se deseara hacer el análisis con un sismo, se debe proporcionar el acelerograma del mismo en m/s^2 .

Los programas están diseñados para que, de forma automática, se detecten y se descarten los casos en los que no se inicia el modo de balanceo, así como los que sí lo presentan pero, no fallan por volteo. Además, se registra en una matriz todos los datos de los cuerpos que sí se volcaron en algún instante de tiempo durante el movimiento; el archivo de salida registra:

- Semi-dimensiones y coeficiente de restitución del cuerpo.
- Amplitud máxima, frecuencia e intensidad de Arias del movimiento.
- Energía total, cinética y potencial ($ET=EP+EC$).
- Tiempo t .
- Numero de impactos acumulados cuando inicia el volteo.
- Aceleración, velocidad y desplazamiento del movimiento.
- Aceleración, velocidad y desplazamiento rotacionales del cuerpo.
- Otras características geométricas del cuerpo como el ángulo de esbeltéz α y el parámetro de frecuencia p .

Todas estas características son calculadas para tres momentos que se consideraron claves en el análisis: al inicio del balanceo, cuando se llega a la condición estática de volteo ($\theta \geq \alpha$) y al momento de iniciar la condición de volteo o no retorno (es decir, la última vez que $\theta=0$ y el sentido del giro es invariante hasta llegar a $\theta \geq 90^\circ$).

En el caso del modelo para analizar cuerpos con excentricidades, además de los datos anteriores, la matriz de volteos también incluye:

- Sentido en el que inicia el balanceo, $\theta < 0$ o $\theta > 0$.
- Número de impactos acumulados hasta el momento en el que inicia el volteo y se cuentan cuantas veces se balanceó en cada sentido dado que $b_L \neq b_R$.
- Excentricidad que presenta el cuerpo ($e_x = b_{\text{menor}}/b_{\text{mayor}}$).

Con el fin de presentar de una forma clara y concisa el procedimiento que siguen ambos códigos creados para el análisis de balanceo y volteo de cuerpos rígidos, en las Figuras 2.1 y 2.2 se muestra el diagrama de flujo perteneciente a cuerpos regulares, y en las Figuras 2.3 y 2.4 el correspondiente a cuerpos irregulares con excentricidad horizontal.

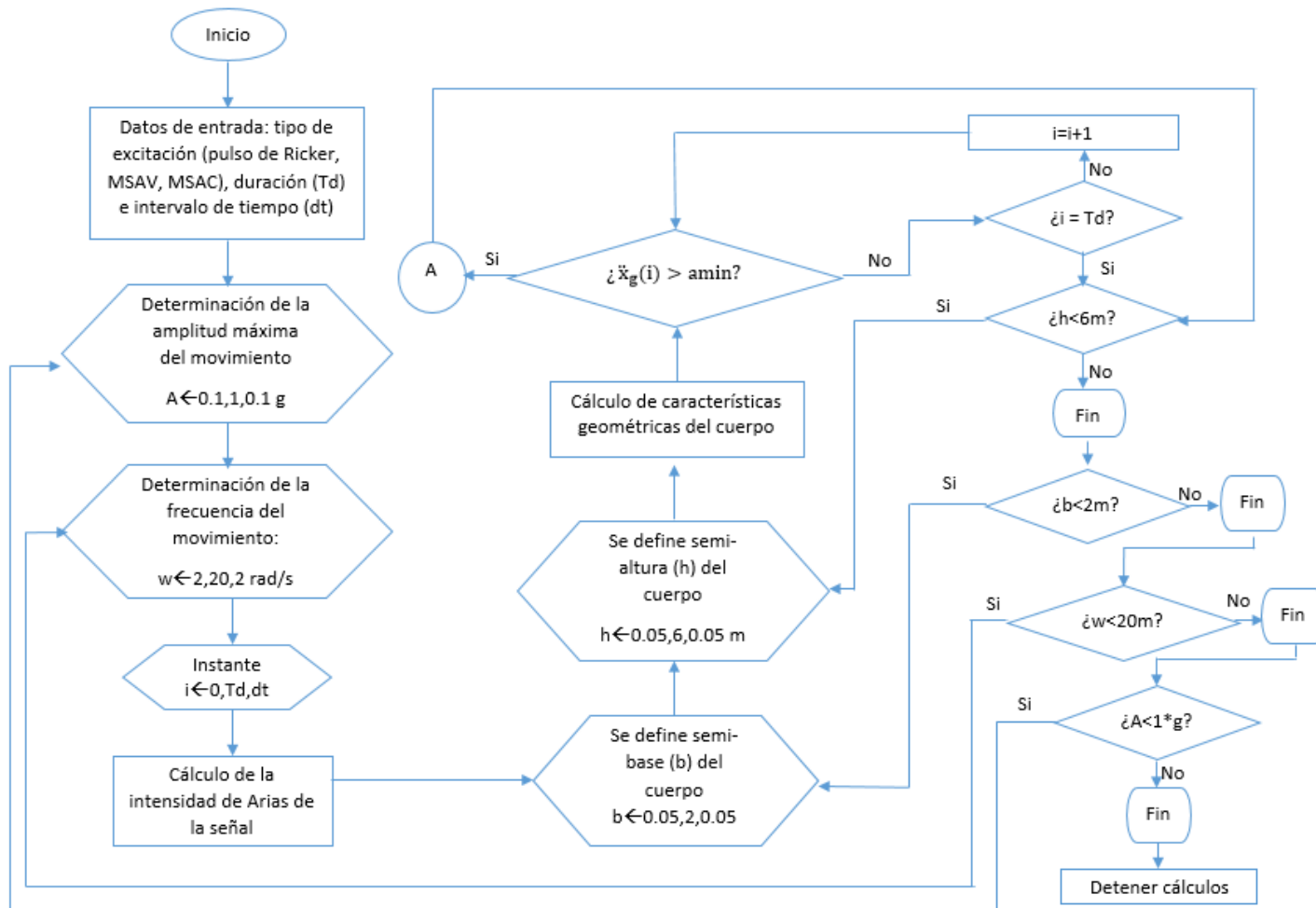


Figura 2.1.1 Diagrama de flujo del programa creado para cuerpos regulares (parte 1)

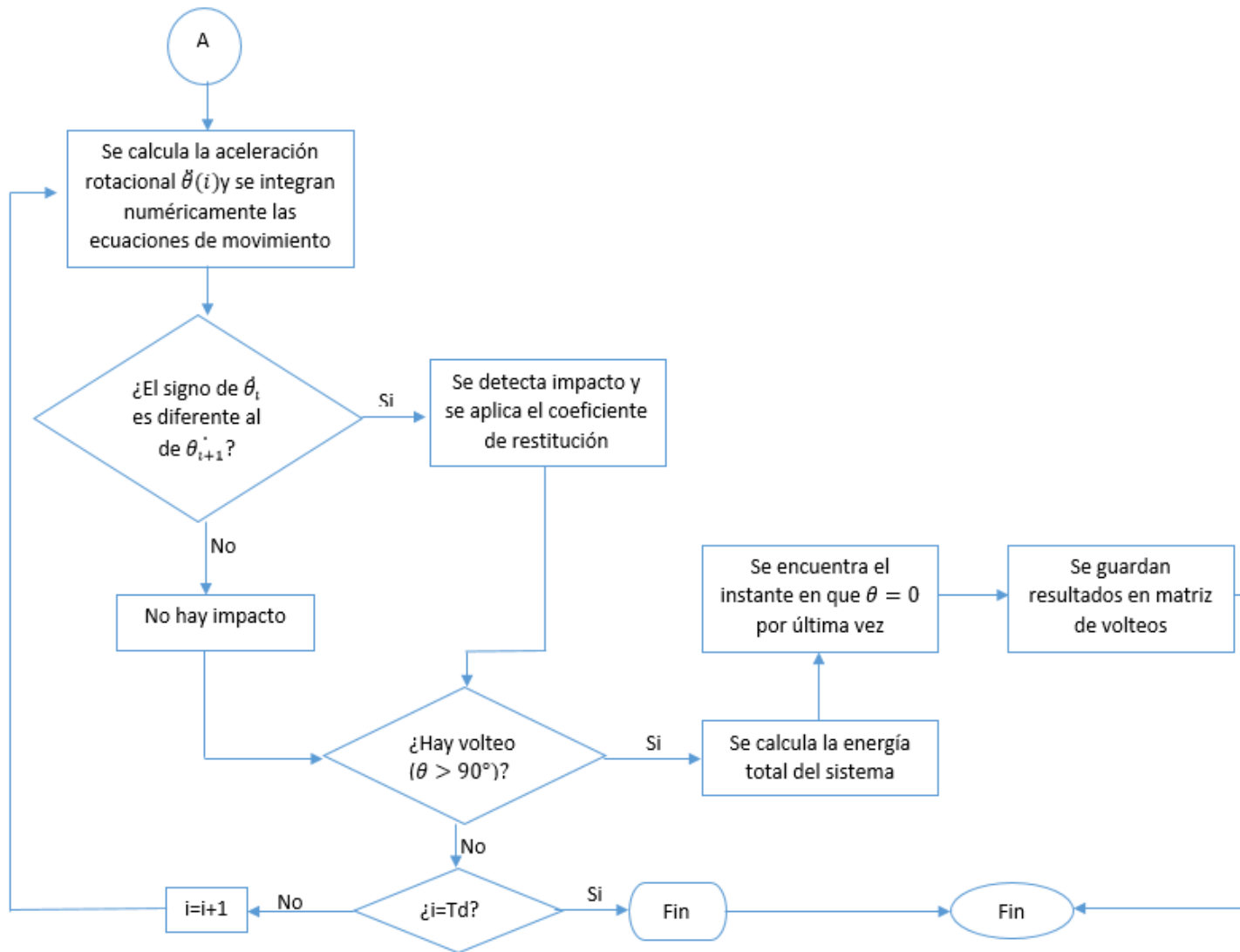


Figura 2.1.2. Diagrama de flujo del programa creado para cuerpos regulares (parte 2)

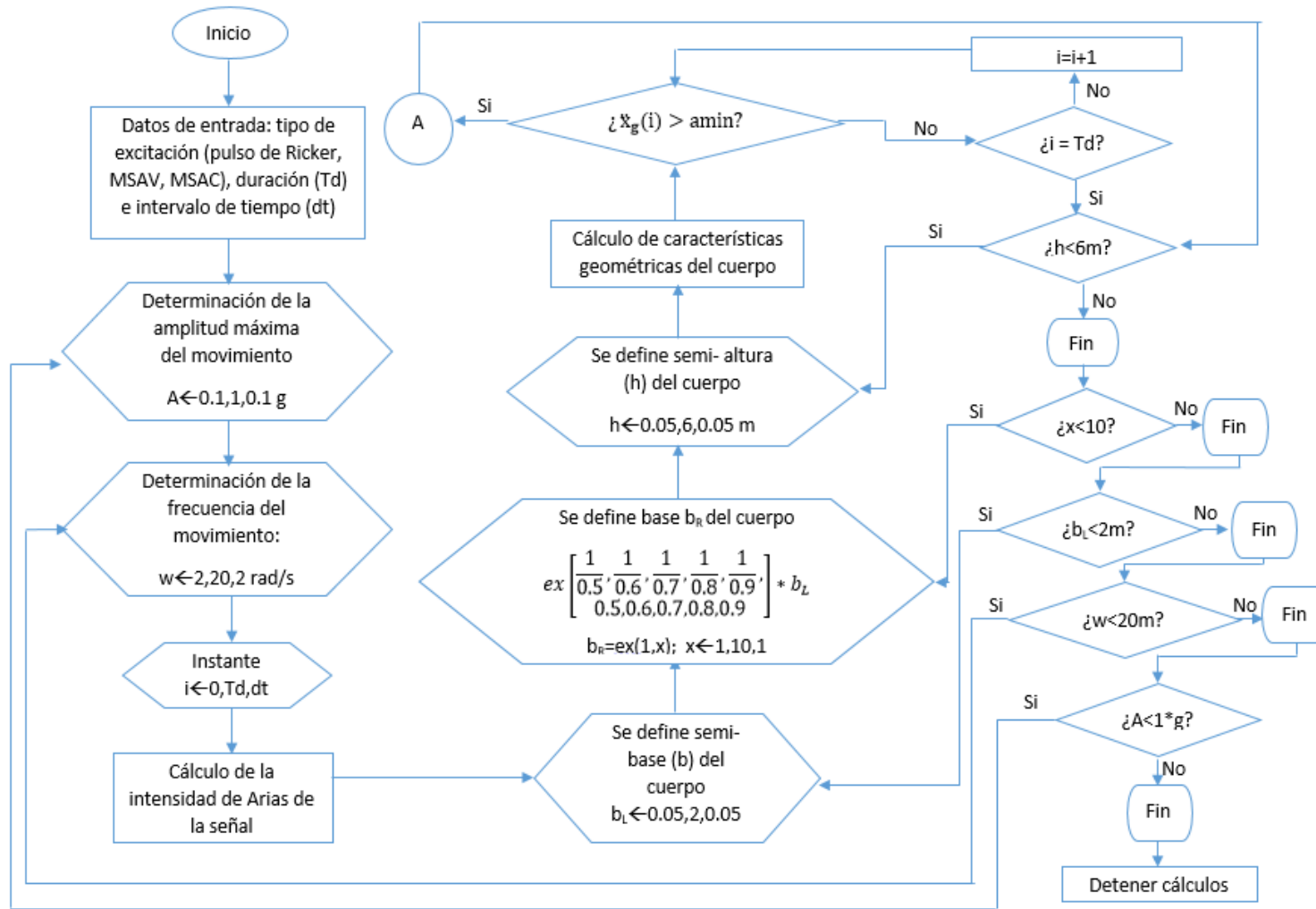


Figura 2.1.3. Diagrama de flujo del programa creado para cuerpos irregulares (parte 1)

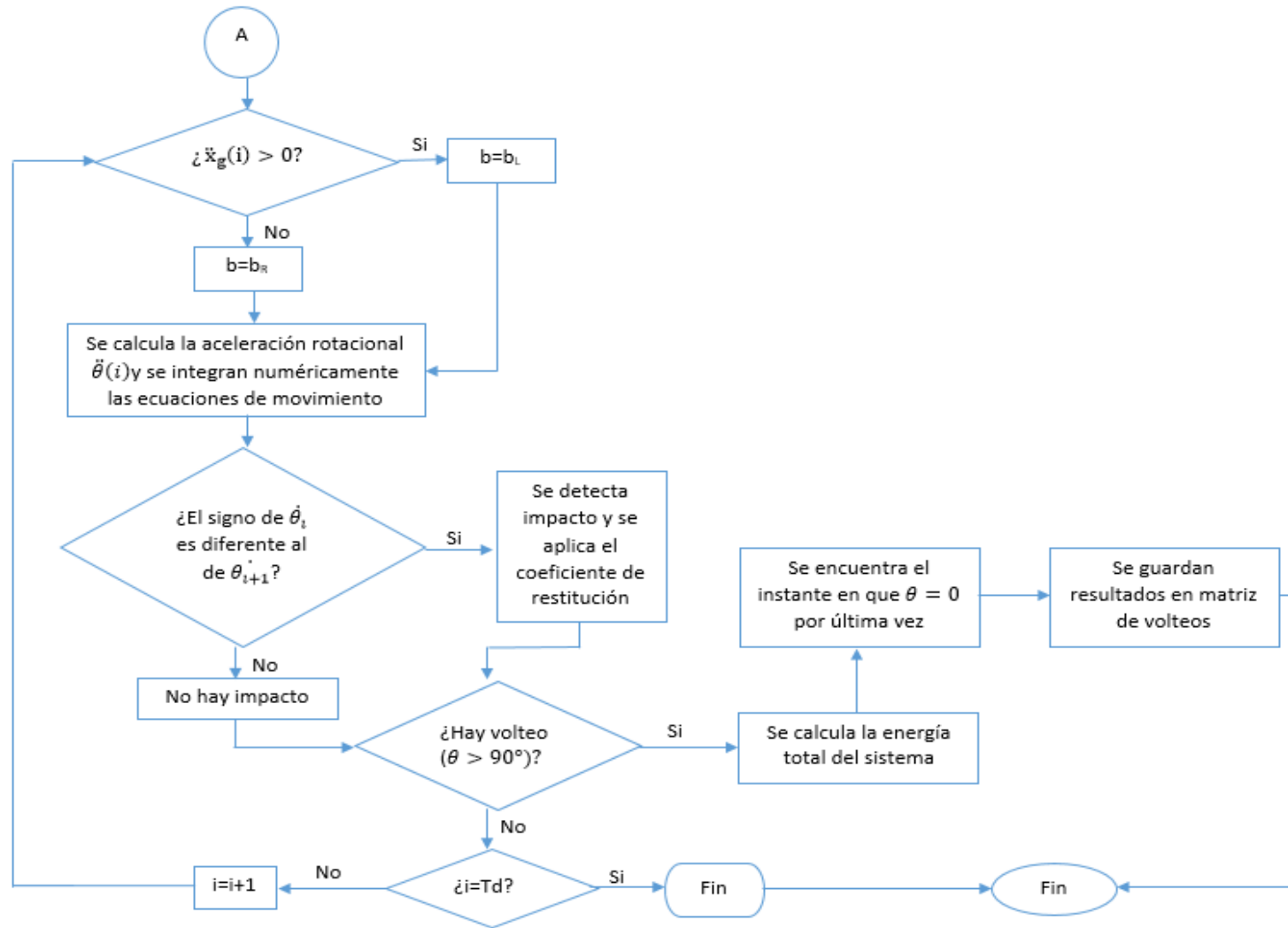


Figura 2.1.4. Diagrama de flujo del programa creado para cuerpos irregulares (parte 2)

2.2. RESULTADOS ADICIONALES OBTENIDOS

En las siguientes figuras se muestran algunos ejemplos de los tipos de resultados que se pueden obtener con el programa creado.

En la Figura 2.2.1 observamos una curva clásica de volteo para una función armónica, es este caso se trata de un movimiento senoidal de amplitud variable (MSAV) con un $PGA=0.5g$, variando los valores de la frecuencia de la señal; mientras que en la Figura 2.2.2 se muestra una curva clásica de volteo obtenida utilizando un acelerograma correspondiente al sismo del 17 de enero de 1994 en Northridge.

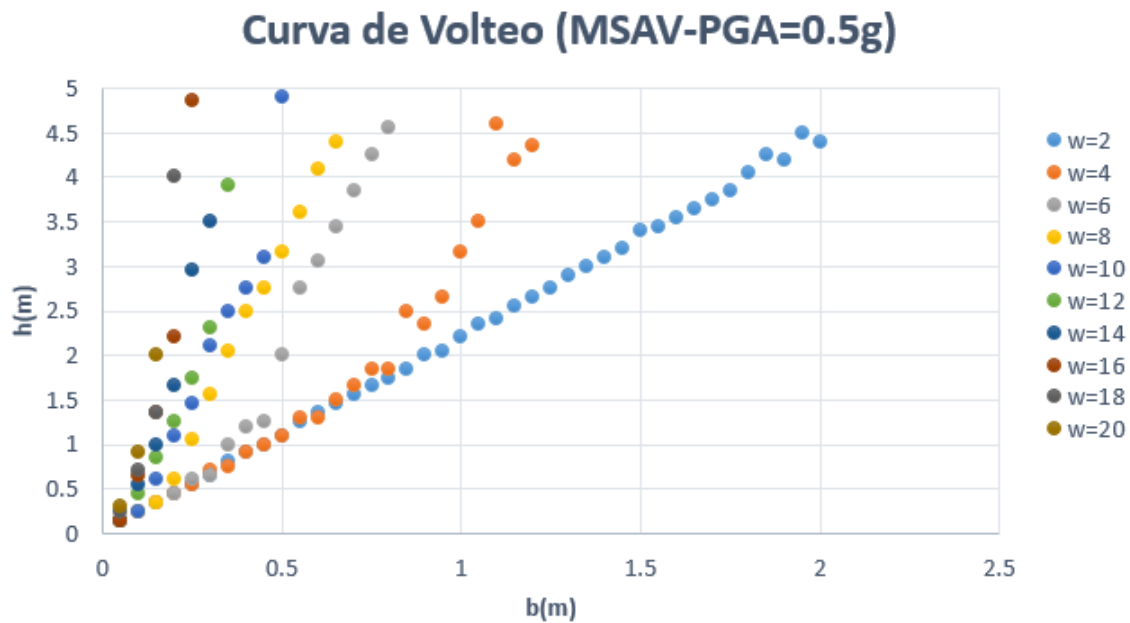


Figura 2.2. 1. Curva de volteo tradicional para un movimiento senoidal de amplitud variable (MSAV) con un $PGA=0.5g$. $w=[rad/s]$

17/01/1994-Northridge

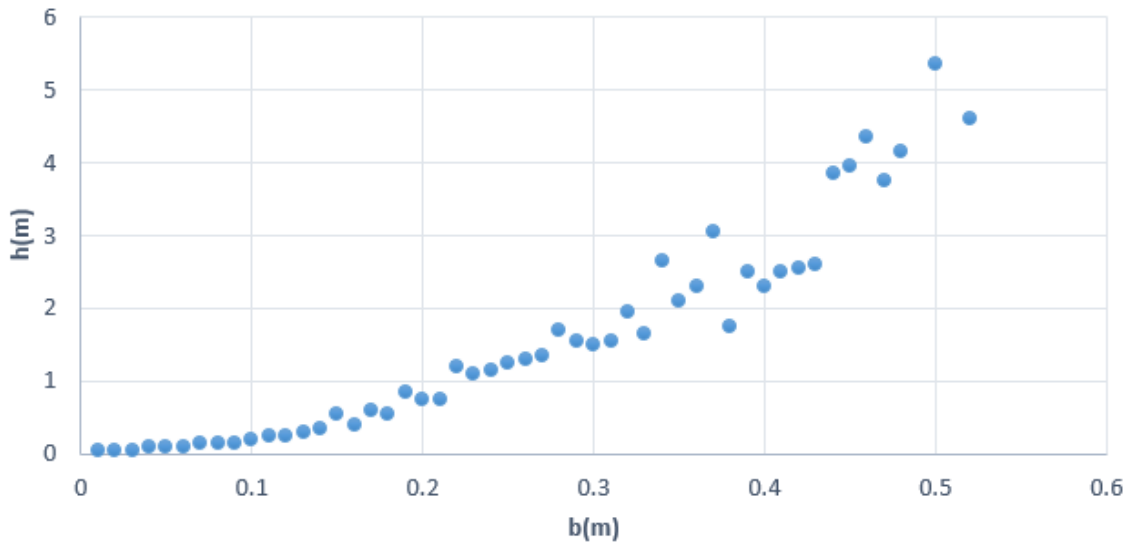


Figura 2.2.2. Curva de volteo para el sismo del 17/01/94-Northridge

En la Figura 2.2.3 se muestra un ejemplo de los tres tipos de curvas de equi-intensidad (aceleración, velocidad y desplazamiento) que se pueden obtener, se puede notar que a pesar de que todas son para los mismos movimientos senoidales de amplitud variable (MSAV) se comportan de forma muy diferente entre ellas.

Comparación de Curvas de Equi-Intensidad

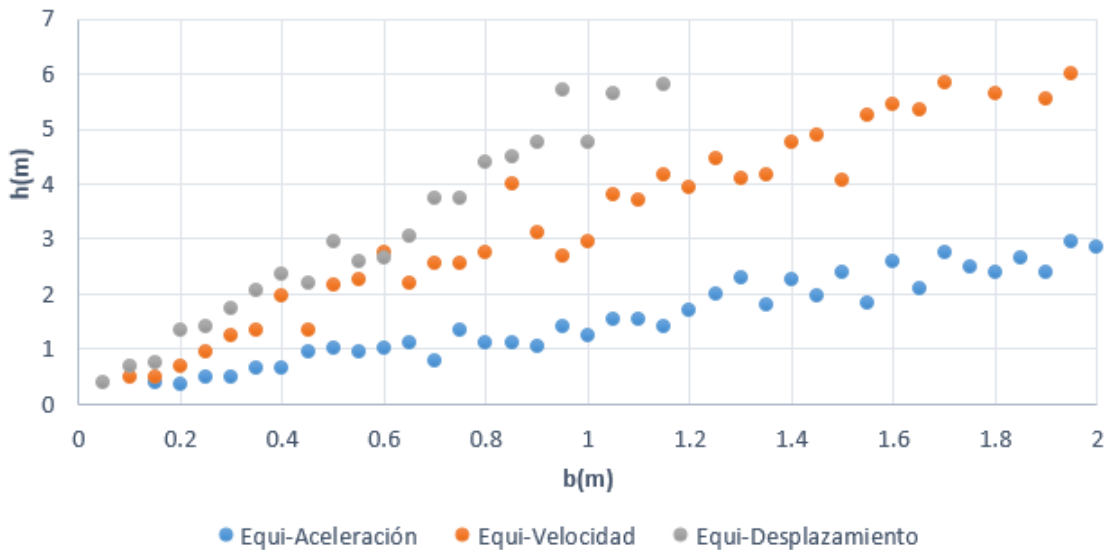
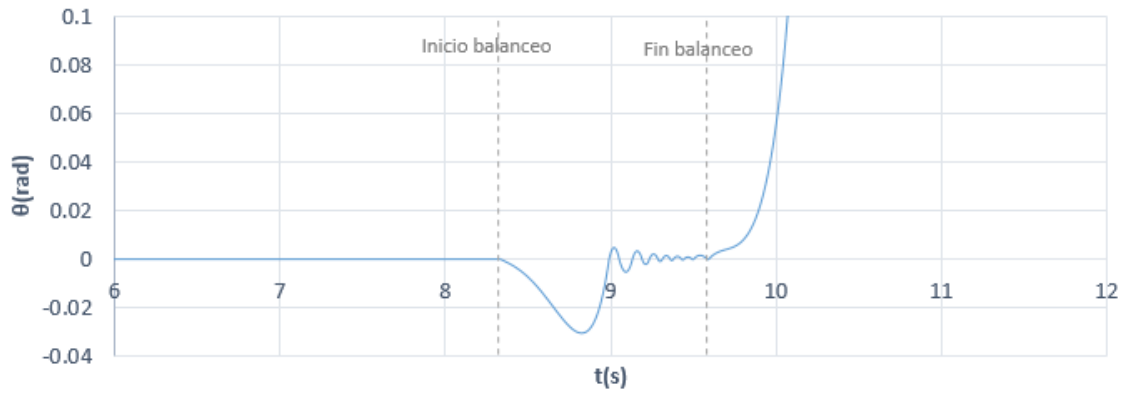


Figura 2.2. 3. Comparación entre los tres diferentes tipos de curvas de equi-intensidad para un MSAV.

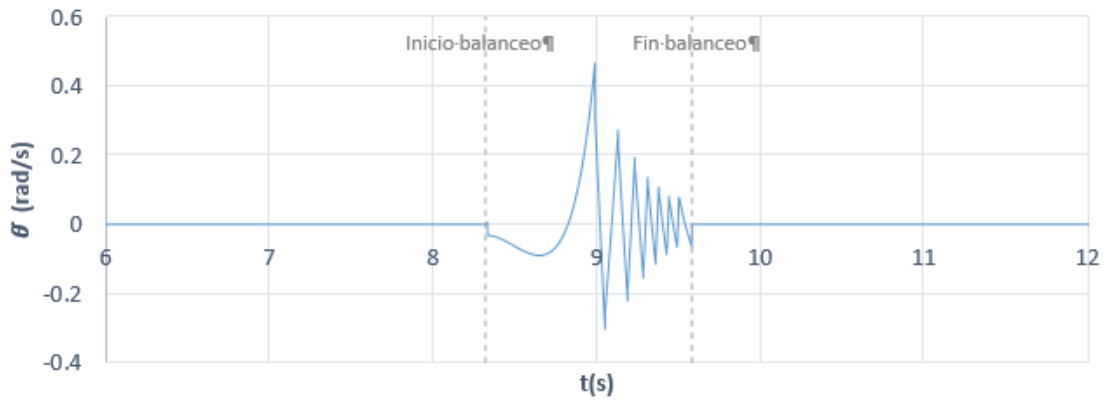
Además de poder obtener las características geométricas y dinámicas de los cuerpos que fallan por volteo realizando el análisis del comportamiento dinámico de un universo representativo de casos, ambos programas desarrollados para este trabajo permiten obtener las historias de aceleración, velocidad y desplazamiento angular de cuerpos rígidos individuales.

En la Figura 2.4 puede observarse la historia de rotación (θ) velocidad angular ($\dot{\theta}$) y aceleración angular de un cuerpo con una excentricidad en el eje horizontal $e_x=0.5$ ($b_L=0.05$ m, $b_R=0.025$ m y $h=0.15$ m) ante un MSAV con una amplitud máxima $A_{max}=1.962$ m/s² y una frecuencia $\omega=2$ rad/s. Logra percibirse que alcanzó a tener 14 impactos antes de llegar al volteo en el tiempo $t=9.58$ s, esto se sabe ya que cada vez que se cruza la línea del cero se cuenta como un impacto, en el tiempo $t=8.32$ s se inicia el balanceo pero no es hasta el tiempo $t=9.05$ s que se presenta el primer impacto; también se nota que permaneció en balanceo durante aproximadamente 1 s (inició en el tiempo $t=8.32$ s y terminó en $t=9.58$ s), lo cual al considerar sus dimensiones no es sorpresa que sea tan inestable y haya llegado al volteo súbitamente.

Historia de rotación (θ)



Historia de velocidad angular ($\dot{\theta}$)



Historia de aceleración angular ($\ddot{\theta}$)

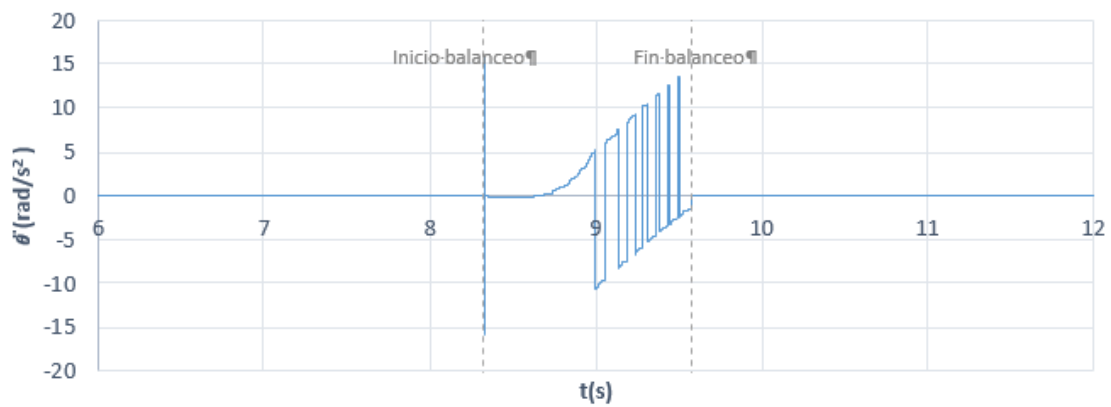


Figura 2.2. Historia de rotación y velocidad angular para un cuerpo irregular bajo un movimiento senoidal de amplitud variable (MSAV).

La Tabla 2.1 muestra un ejemplo de la matriz de datos de volteo que se obtiene como resultado de realizar el análisis con el modelo numérico creado; por cuestiones de espacio, no se muestra la matriz completa dado que esta es de nx40 (n= número de cuerpos que presentan volteo). Todos estos datos fueron organizados por amplitud máxima (Amax) y posteriormente, por frecuencia del movimiento (w) para poder derivar los resultados de secciones subsecuentes.

Tabla 2.1. Ejemplo de matriz de resultados

A	w	b	h	Ar	Vr	Dr	PGA	Vg	dg	t	#imp	E0	Ea	ET	EK	EP	alfa
0.981	2	0.05	0.55	-1.9989	-0.0532	-5E-05	0.9217	-0.1781	-0.3433	12.912	7	0.0054	0.1883	9.6537	4.7476	4.9061	0.0907
0.981	2	0.05	0.6	1.8251	0.0281	1E-05	-0.97	0.0259	0.1475	11.476	10	5E-05	0.1798	10.503	5.093	5.4102	0.0831
0.981	2	0.05	0.65	1.148	0.1901	0.0001	0.2113	0.4594	-0.1371	10.618	1	0.0072	0.0242	12.46	6.5662	5.8934	0.0768
0.981	2	0.05	0.7	1.4941	0.0007	4E-07	-0.0304	0.4711	-0.0772	10.746	0	0.0148	0.1739	12.447	6.0541	6.3932	0.0713
0.981	2	0.05	0.75	-0.9363	-0.0371	-2E-05	0.7886	0.2538	-0.2832	10.229	5	0.0013	0.1762	13.209	6.332	6.8767	0.0666
0.981	2	0.05	0.8	-0.7641	-0.1287	-3E-05	0.1492	-0.4444	-0.1334	9.244	1	0.0055	0.0226	15.267	7.9087	7.3584	0.0624
0.981	2	0.05	0.85	-1.1761	-0.2869	-0.0001	0.3335	-0.4185	-0.1797	9.351	1	0.0095	0.092	16.215	8.3494	7.8656	0.0588
0.981	2	0.05	0.9	-0.0004	-2E-07	-1E-10	0.3635	-0.4122	-0.1872	9.369	0	0.0131	0.131	16.487	8.12	8.3673	0.0555
0.981	2	0.05	0.95	-0.0002	-8E-08	-4E-11	-0.3302	-0.4179	-0.0095	8.964	0	0.0163	0.1324	17.162	8.2993	8.8623	0.0526
0.981	2	0.05	1	0.5831	0.0162	1E-05	-0.7061	-0.2582	0.0941	8.666	6	0.0002	0.1164	18.047	8.7237	9.3232	0.05
0.981	2	0.05	1.05	0.603	0.0312	1E-05	-0.8179	0.0082	0.1371	8.33	3	0.0002	0.0709	19.338	9.4995	9.8381	0.0476
0.981	2	0.05	1.1	0.4292	0.0759	2E-05	-0.5901	0.2435	0.0945	8.007	1	0.001	0.0222	20.764	10.448	10.316	0.0454
0.981	2	0.05	1.15	0.555	0.1199	0.0001	-0.553	0.2618	0.0864	7.975	1	0.002	0.0305	21.804	11.006	10.798	0.0435
0.981	2	0.05	1.2	0.6399	0.1674	0.0002	-0.6983	0.1737	0.1171	8.115	1	0.003	0.0722	22.629	11.318	11.311	0.0416
0.981	2	0.05	1.25	0.6377	0.2113	0.0001	-0.8239	-0.0725	0.134	8.428	1	0.0039	0.0693	23.146	11.352	11.794	0.04
0.981	2	0.05	1.3	0.4508	0.2407	7E-05	0.0297	-0.5011	-0.1138	12.316	3	0.0048	0.09	23.878	11.595	12.283	0.0384
0.981	2	0.05	1.35	0.4032	0.0002	1E-07	-0.8245	-0.0667	0.1345	8.421	0	0.0056	0.0954	26.057	13.276	12.782	0.037
0.981	2	0.05	1.4	0.3751	0.0002	9E-08	-0.7324	0.1436	0.1238	8.157	0	0.0064	0.0968	26.6	13.338	13.262	0.0357
0.981	2	0.05	1.45	0.3496	0.0002	9E-08	-0.6155	0.2296	0.0999	8.03	0	0.0071	0.0965	27.401	13.636	13.765	0.0345
0.981	2	0.05	1.5	0.3267	0.0002	8E-08	-0.5287	0.2726	0.081	7.955	0	0.0077	0.0954	28.235	13.992	14.243	0.0333
0.981	2	0.05	1.55	0.3062	0.0002	8E-08	-0.4688	0.2961	0.0677	7.908	0	0.0083	0.0941	29.133	14.401	14.732	0.0322
0.981	2	0.05	1.6	0.2873	0.0001	7E-08	-0.4287	0.3096	0.0586	7.878	0	0.0089	0.0923	30.068	14.841	15.227	0.0312
0.981	2	0.05	1.65	0.0693	0.0053	8E-07	-0.2241	0.3561	0.011	7.736	2	0.0002	0.0849	30.847	15.139	15.707	0.0303
0.981	2	0.05	1.7	-0.1633	-0.0097	-3E-07	-0.3943	0.3198	0.0507	7.853	3	6E-06	0.0887	31.998	15.773	16.225	0.0294
0.981	2	0.05	1.75	0.0142	0.0086	8E-06	-0.0099	0.3727	-0.0408	7.595	2	3E-05	0.0724	32.644	15.961	16.683	0.0286
0.981	2	0.05	1.8	-0.1355	-0.0217	-2E-05	0.2843	0.344	-0.1149	7.391	1	0.0001	0.0485	33.622	16.408	17.213	0.0278
0.981	2	0.05	1.85	-0.1595	-0.0285	-5E-06	0.4854	0.2774	-0.1685	7.22	1	0.0003	0.0318	34.535	16.877	17.659	0.027
0.981	2	0.05	1.9	-0.1808	-0.0357	-2E-05	0.5318	0.2525	-0.1815	7.171	1	0.0004	0.0286	35.613	17.427	18.185	0.0263
0.981	2	0.05	1.95	-0.1985	-0.0427	-3E-05	0.53	0.2535	-0.181	7.173	1	0.0006	0.0309	36.534	17.883	18.652	0.0256
0.981	2	0.05	2	-0.2128	-0.0495	-7E-06	0.5002	0.27	-0.1726	7.205	1	0.0007	0.0362	37.555	18.38	19.175	0.025
0.981	2	0.05	2.05	-0.224	-0.0562	-1E-05	0.45	0.2933	-0.1588	7.254	1	0.0009	0.0436	38.497	18.833	19.664	0.0244
0.981	2	0.05	2.1	-0.232	-0.0624	-2E-05	0.3781	0.3194	-0.1395	7.317	1	0.0011	0.0534	39.422	19.278	20.145	0.0238
0.981	2	0.05	2.15	-0.237	-0.0684	-6E-05	0.2843	0.344	-0.1149	7.391	1	0.0012	0.0648	40.327	19.716	20.612	0.0233
0.981	2	0.05	2.2	-0.2385	-0.0736	-3E-05	0.1638	0.3636	-0.084	7.478	1	0.0014	0.0778	41.36	20.229	21.132	0.0227
0.981	2	0.05	2.25	-0.2372	-0.0784	-5E-05	0.0219	0.3725	-0.0486	7.574	1	0.0015	0.0922	42.309	20.711	21.599	0.0222
0.981	2	0.05	2.3	-0.2329	-0.0825	-6E-05	-0.1424	0.366	-0.0086	7.682	1	0.0017	0.1073	43.385	21.277	22.108	0.0217

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta investigación se obtuvieron tres tipos principales de resultados:

- Curvas de volteo para movimientos escalados a una misma aceleración, velocidad y desplazamiento pico; éstas se realizaron para distintos tipos de movimientos (MSAV, MSAC, pulso de Ricker).
- Curvas de equi-intensidad: éstas deben entenderse como aquellas en la que todos sus puntos corresponden a dimensiones de cuerpos rígidos simétricos (semi-base (b) y semi-altura (h)) que fallaron por volteo a una misma medida de intensidad (aceleración, velocidad, desplazamiento o intensidad de Arias); independientemente de la amplitud pico de la excitación a la que se encontraron sometidos.
- Curvas de equi-excentricidad: éstas se entienden como curvas en las que todos sus puntos corresponden a cuerpos que fallaron por volteo, los cuales presentan la misma relación de excentricidad horizontal e_x ; referida a la semi-base izquierda (b_L) del cuerpo, sea mayor o menor.

El análisis se realizó con incrementos en la semi-base b y de semi-altura h de 0.05 m, para cuerpos rectangulares regulares. En el caso de los cuerpos irregulares, se analizaron cinco excentricidades horizontales, de $e_x=0.5 \square b$ hasta $e_x=0.9 \square b$, e incrementos de la altura hasta el centro de masa h de 0.05 m; cabe aclarar que en este caso los incrementos de altura h no representan excentricidad vertical, simplemente se utilizaron para modificar las características geométricas de los cuerpos y abarcar una mayor cantidad de cuerpos con distintas dimensiones.

3.1. CURVAS DE VOLTEO PARA MOVIMIENTOS ESCALADOS A UNA MISMA ACCELERACIÓN, VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO

De la Figura 3.1.1 a la Figura 3.1.3 se presentan ejemplos de curvas tradicionales de volteo para distintos tipos de señales analíticas (seno, MSAV y pulso de Ricker) obtenidas con el programa desarrollado y para frecuencias angulares ω desde 2 rad/s hasta 20 rad/s.

En los tres casos se puede observar que, conforme se incrementa la frecuencia de la señal empleada, la altura mínima de volteo para la misma semi-base b es cada vez mayor; es decir, los cuerpos esbeltos son más vulnerables. O de otra manera; los movimientos de menor frecuencia son los que provocarían un mayor número de colapsos para el universo de cuerpos analizados. Cabe mencionar que un cuerpo se considera como esbelto cuando su relación $h/b \geq 3$ y como robusto cuando $h/b < 3$ (Yim, Chropra y Penzien, 1980).

También se puede notar que en general, la señal que provoca el mayor número de volteo de cuerpos, es decir, que la altura mínima de volteo es menor comparada con las otras, es la correspondiente al seno de amplitud constante.

En general, este tipo de figuras pueden dar una idea de las dimensiones críticas de los cuerpos que posiblemente presentarán volteo bajo una excitación de cierta amplitud máxima y frecuencia característica; debido a que, normalmente las mismas se refieren a la intensidad pico del movimiento estudiado escalado linealmente, estas no indican

puntualmente a que intensidad en la historia del movimiento colapsó el cuerpo analizado y/o la energía requerida para ello, lo cual no permite tomar decisiones de mitigación y/o protección basadas en resultados definitivos.

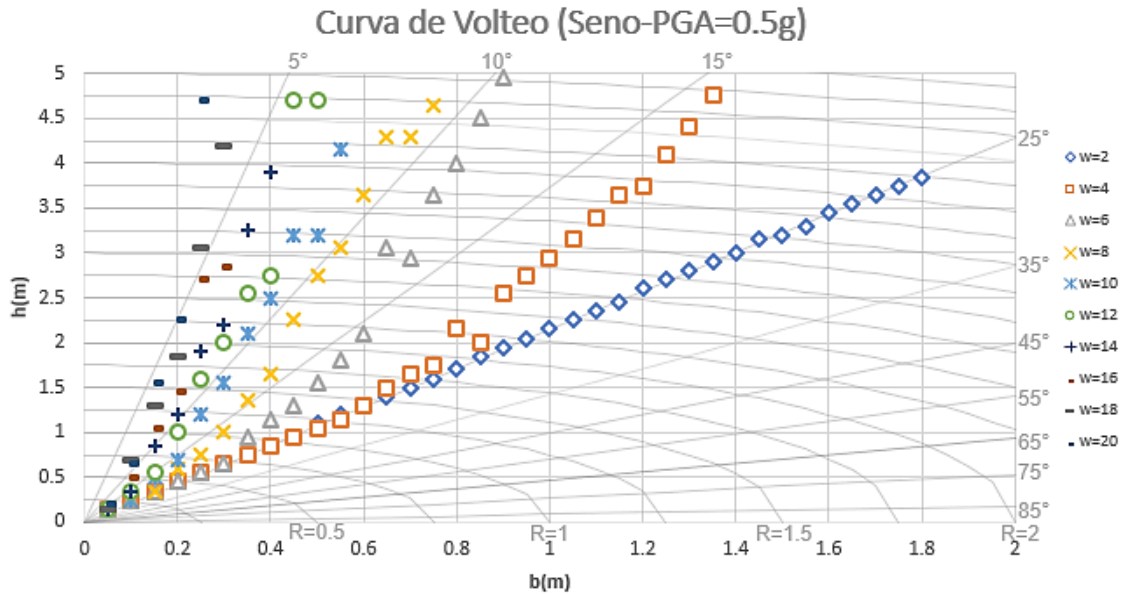


Figura 3.1.1. Curva de volteo tradicional para un seno de amplitud constante con una amplitud máxima $A_{max}=0.5g$.

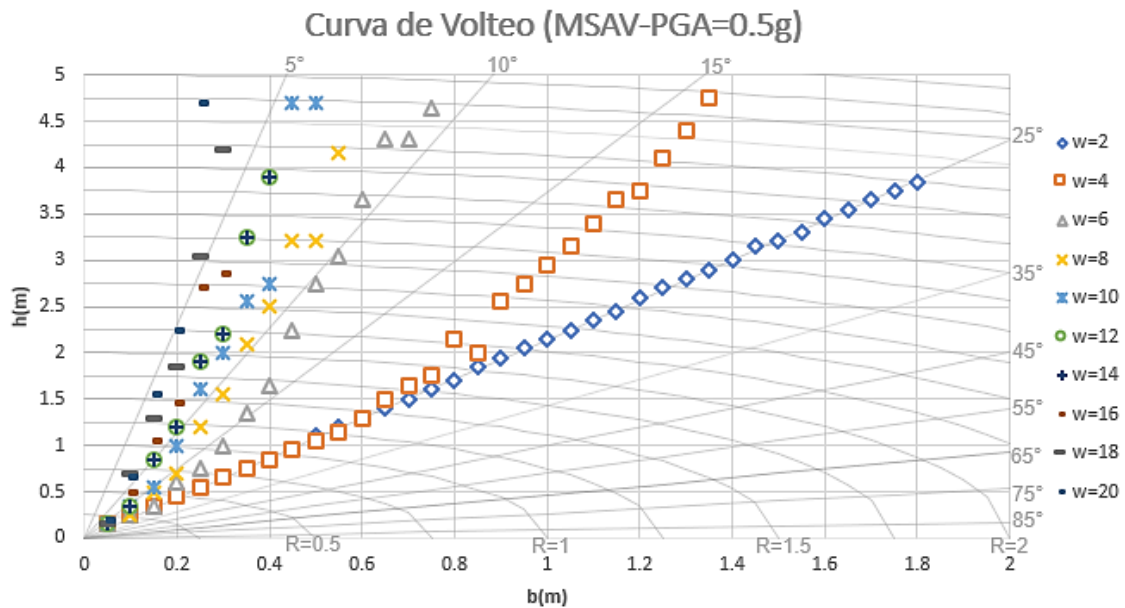


Figura 3.1.2. Curva de volteo tradicional para un seno de amplitud variable (MSAV) con una amplitud máxima $A_{max}=0.5g$.

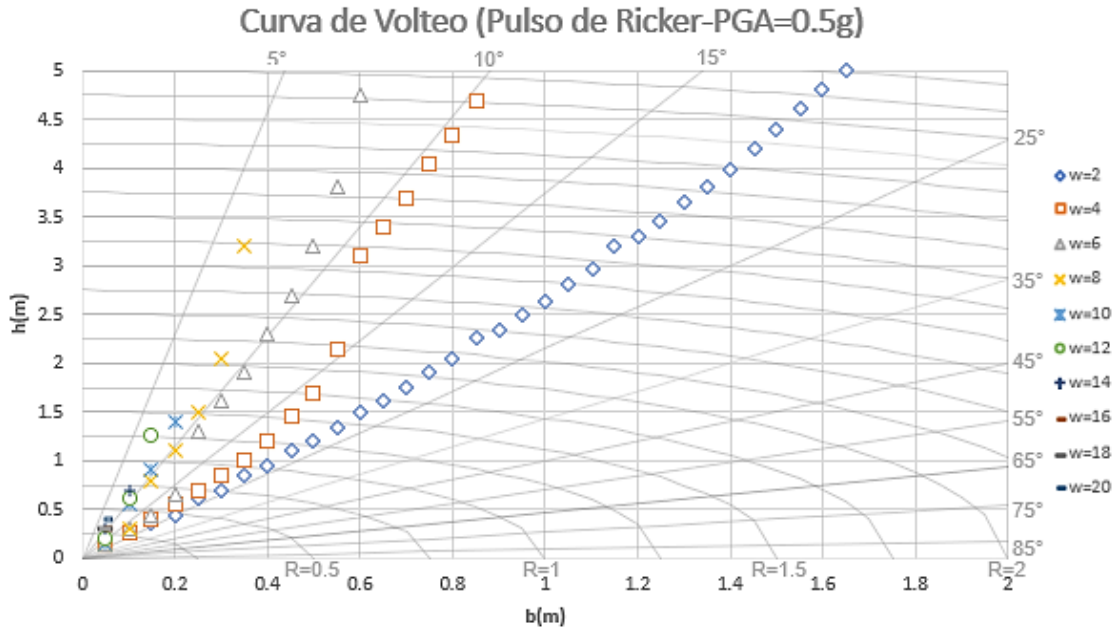


Figura 3.1.3. Curva de vuelco tradicional para un pulso de Ricker con una amplitud máxima $A_{max}=0.5g$.

En la Figura 3.1.4 a 3.1.6 se pueden observar curvas de vuelco para los tres tipos de movimientos, ahora escalados a la misma velocidad pico, este tipo de figuras son similares a las curvas de vuelco tradicionales, con la diferencia de que, al regresar al espacio de aceleraciones, estarán referidas a una aceleración máxima diferente.

En general, presentan un comportamiento similar entre ellas; la zona en la que se concentran las alturas críticas de vuelco es reducida y la esbeltez de los cuerpos afectados con las distintas frecuencias cambia muy poco. Lo anterior se observa de forma muy marcada para el caso del movimiento tipo Ricker.

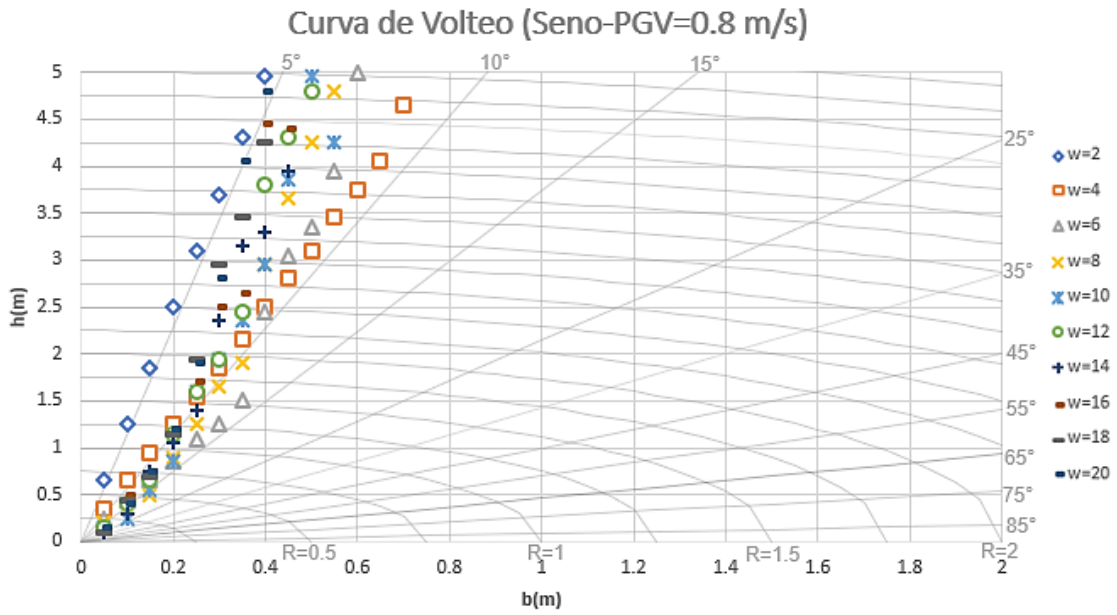


Figura 3.1.4. Curvas de volteo para senos escalados a la misma velocidad máxima $V_{max}=0.8m/s$.

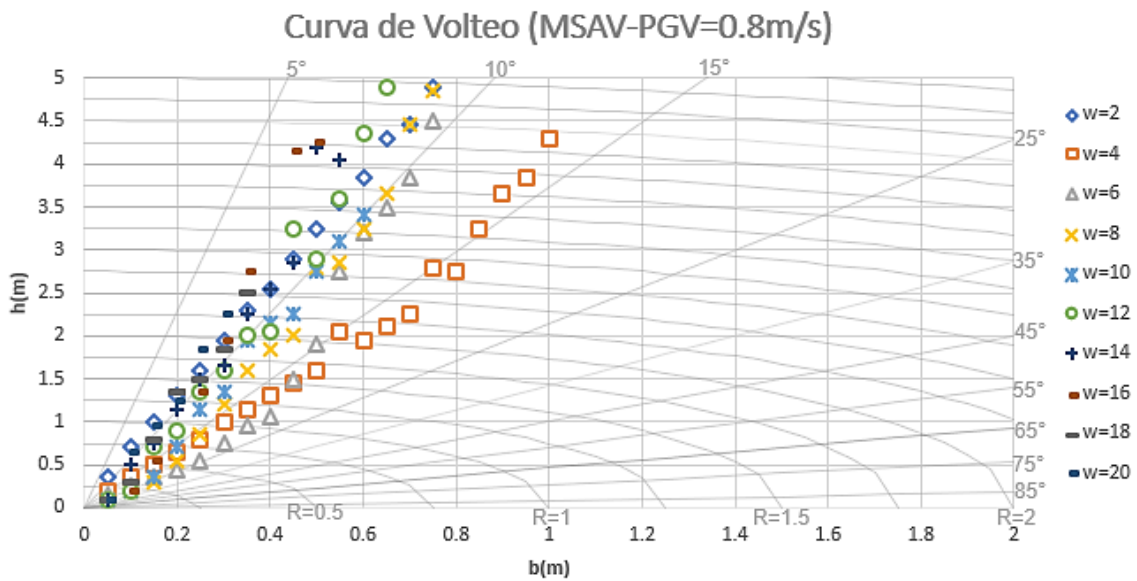


Figura 3.1.5. Curvas de volteo para MSAV escalados a la misma velocidad máxima $V_{max}=0.8m/s$.

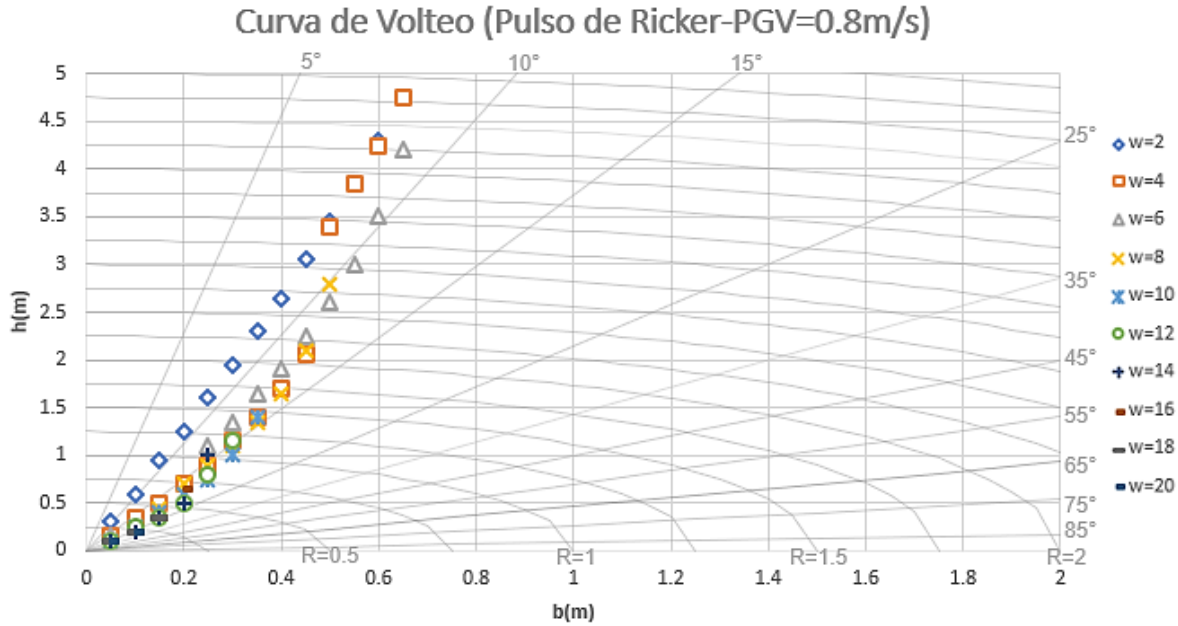


Figura 3.1.6. Curvas de volteo para pulsos de Ricker escalados a la misma velocidad $V_{max}=0.8m/s$.

En las Figuras 3.1.7 y 3.1.8 se muestran curvas de volteo para movimientos escalados al mismo desplazamiento pico, este tipo de figuras también son similares a las curvas de volteo tradicionales, con la diferencia de que, al regresar al espacio de aceleraciones, estarán referidas a una aceleración máxima diferente.

Se puede observar que, al contrario que para una misma aceleración pico, mientras más alta sea la frecuencia del movimiento al cual se somete al cuerpo, la altura mínima de volteo para una misma semi-base es menor, es decir, los cuerpos más vulnerables son los robustos. En el caso del movimiento tipo MSAV, al parecer, excepto para $w = 2$ rad/s, la frecuencia no sería un parámetro que controle la vulnerabilidad de cuerpos rígidos ante historias de aceleración con el mismo desplazamiento máximo (D_{max}); esto no es definitivo ya que, se sabe que el contenido de energía antes del volteo del cuerpo es un parámetro esencial para el colapso de cuerpos rígidos.

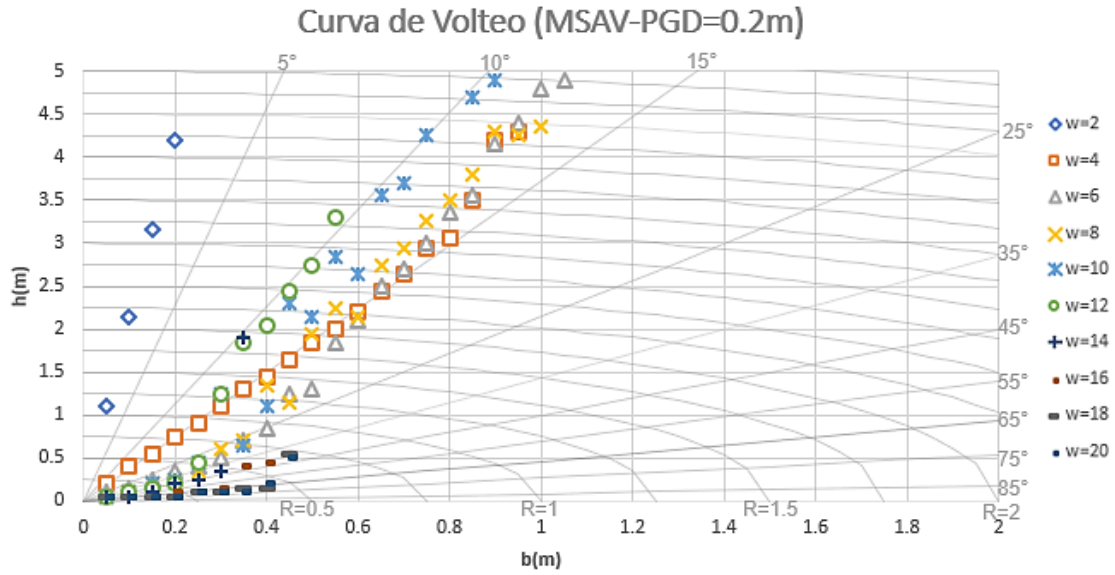


Figura 3.1.7. Curvas de volteo para MSAV escalados al mismo desplazamiento máxima $D_{max}=0.2m$.

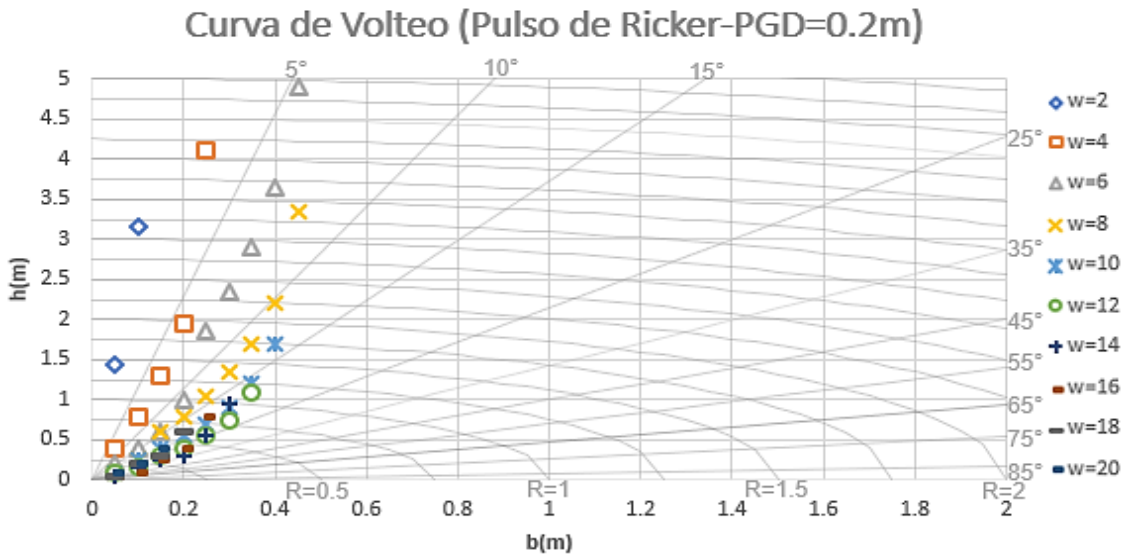


Figura 3.1.8. Curvas de volteo para pulsos de Ricker escalados al mismo desplazamiento máxima $D_{max}=0.2m$.

En las Figuras 3.1.9 a 3.1.12, se muestran algunos ejemplos de las curvas de volteo tradicionales que se obtuvieron para diferentes registros históricos de sismos, que se consideraron relevantes por su capacidad destructiva y por haber evidenciado daños en contenidos de edificios e industria. Así mismo, se presentan los resultados asociados al emplear movimientos tipo seno de amplitud constante y el MSAV estimando como frecuencia característica del movimiento sísmico: la obtenida mediante la metodología de Rathje y la correspondiente a la amplitud máxima en el espectro de Fourier.

Como se puede observar, en algunos casos si es posible hacer uso de esta simplificación quedando del lado de la seguridad, en la mayoría de estos, el uso de la frecuencia dominante obtenida del espectro de Fourier es con la que se obtienen resultados más satisfactorios, especialmente, si se analiza una estación en la zona del lago de la Ciudad de México (Figuras 3.1.9 y 3.1.10). Si se le presta atención a la Figura 3.1.11 se puede notar que la curva obtenida a partir de la frecuencia calculada con el método de Rathje es muy poco confiable, esto puede ser debido a que el sismo tiene un gran contenido de frecuencias y dada la naturaleza de la metodología utilizada no fue posible obtener una frecuencia que realmente representara al movimiento.

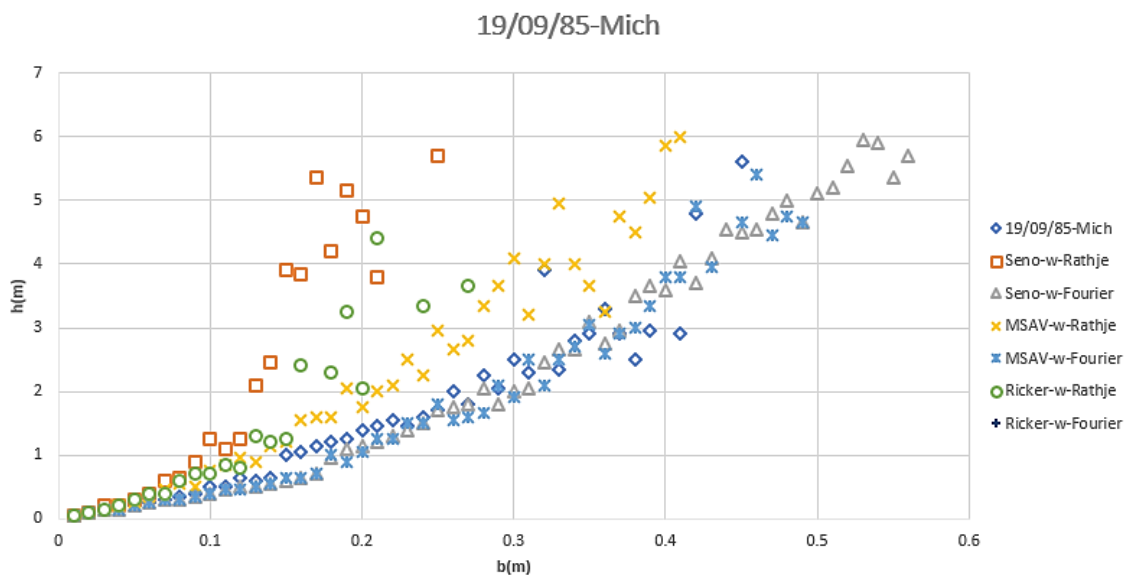


Figura 3.1.9. Curva de volteo del registro histórico del 19/09/85 y las de senos de amplitud constante de distintas frecuenci

as.

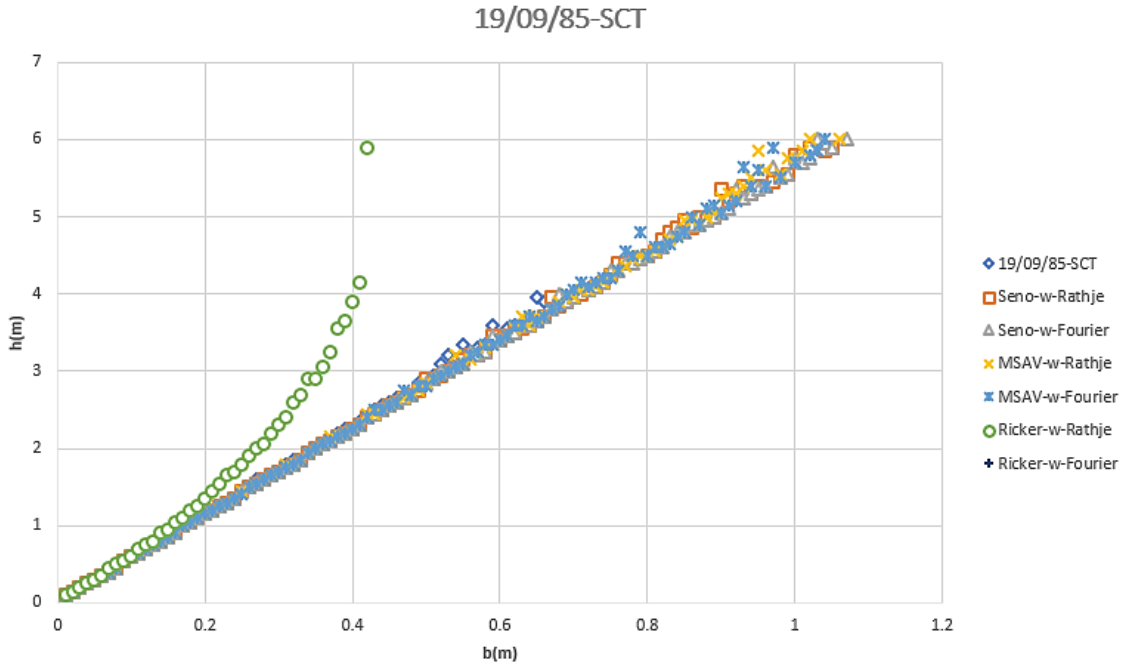


Figura 3.1.10. Curva de volteo del registro histórico del 19/09/85 y las de senos de amplitud constante de distintas frecuencias.

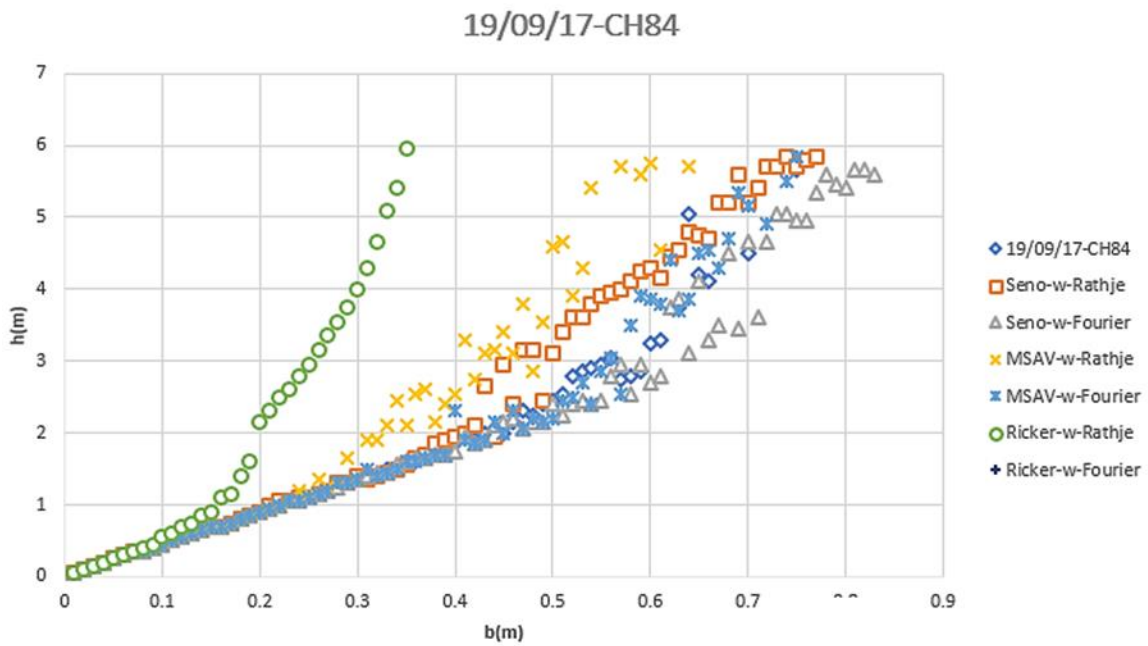


Figura 3.1.11. Curva del volteo del registro histórico del 19/09/17 y las de senos de amplitud constante de distintas frecuencias.

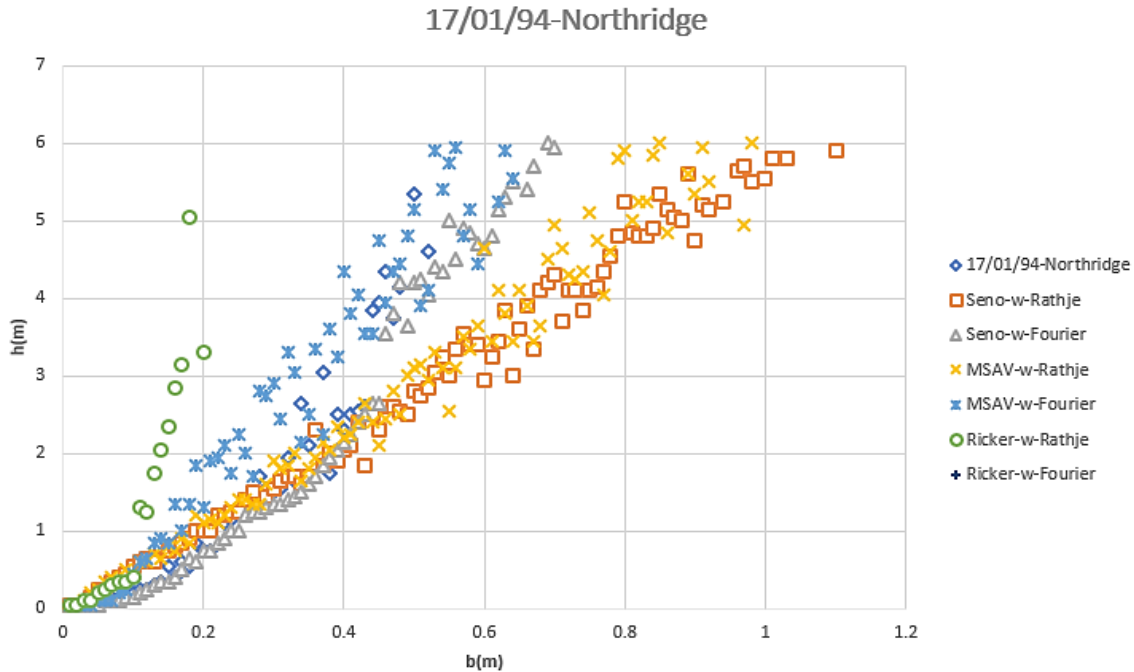


Figura 3.1.12. Curva de volteo del registro histórico del 17/01/94 y las de senos de amplitud constante de distintas frecuencias.

3.2. CURVAS DE EQUI-INTENSIDAD

Una curva de volteo de equi-intensidad debe entenderse como aquella en la que, todos sus puntos corresponden a dimensiones de cuerpos simétricos (semi-base (b) y semi-altura (h)) que fallaron por volteo a una misma intensidad (aceleración, velocidad o desplazamiento), independientemente de la amplitud máxima de la excitación a la que se encontraron sometidos.

Dependiendo de la intensidad que se quisiera representar, estas se clasificaron de distintas maneras:

- Equi-aceleración: se consideró como aceleración límite la de la gravedad, es decir, 9.81 m/s^2 ; ésta se dividió en 20 niveles de intensidad, en intervalos de $0.5g$.
- Equi-velocidad: Se consideraron velocidades comúnmente encontradas en registros reales de sismos, se realizó el análisis de 0.2 m/s hasta 2 m/s cada 0.2 m/s ; para el procesamiento de datos se dividió en 20 niveles de intensidad.
- Equi-desplazamiento: En este caso, también se consideraron desplazamientos comunes en registros reales de sismos, el análisis se llevó a cabo de 0.1 m a 1 m cada 0.1 m ; para el procesamiento de datos, se dividió en 20 niveles de intensidad.
- Equi-intensidad de Arias: En este caso, se consideró la intensidad de Arias normalizada del movimiento (seno, MSAV y pulso de Ricker) al que se encontró sometido el cuerpo. Se consideraron 20 rangos de intensidad, cada 0.5 unidades de energía.

En adelante y adicionalmente, se grafica el número de impactos requeridos para voltearse y la energía total ET asociada.

Es importante mencionar que, a pesar de que si se llevó a cabo el análisis para pulsos de Ricker para diferentes amplitudes y frecuencias, por la naturaleza de estos, no fue posible obtener curvas de equi-intensidad (excepto para Intensidad de Arias); esto, ya que prácticamente todas las fallas por volteo se presentaron una vez terminado el movimiento (luego de la fase intensa), es decir, la aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo en el instante de caída ya eran iguales a cero (que es a lo que están referidas estas curvas de volteo). Esto se ejemplifica en la Figura 3.2.1.

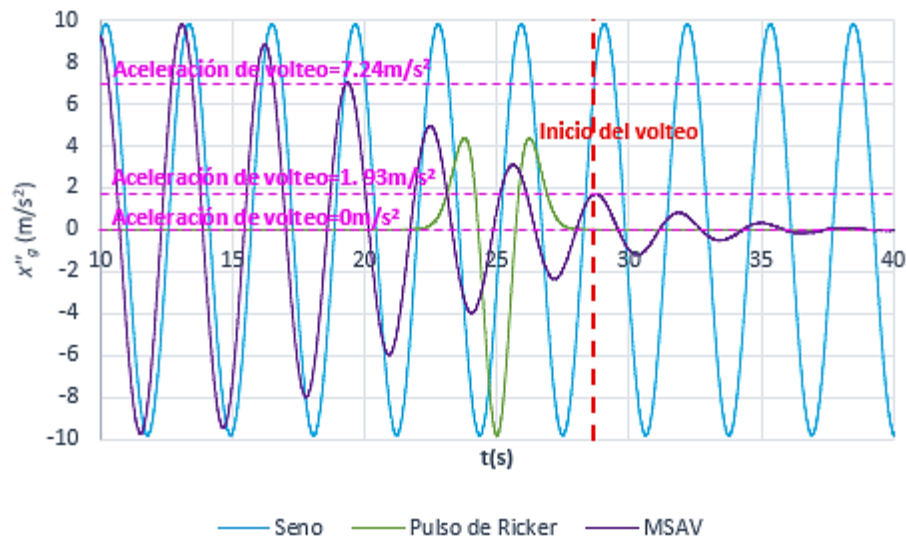


Figura 3.2.1. Ejemplo de la posición de la aceleración al inicio del volteo para los tres tipos de funciones armónicas.

3.2.1. CURVAS DE EQUI-ACELERACIÓN

En la Figura 3.2.2. se muestra un ejemplo de curva de equi-aceleración correspondiente a una aceleración de volteo de $0.5g$ ($4.905 m/s^2$). Para la misma, se incluyeron movimientos tipo seno de amplitud constante con amplitud máxima de $A_{max}=0.1g$ hasta $A_{max}=1g$ y, con frecuencia angular de $\omega=2 rad/s$ hasta $20 rad/s$. Se observa claramente que conforme se incrementa el valor de la frecuencia del movimiento, la altura mínima de volteo para el mismo valor de semi-base b es mayor; es decir, que las frecuencias altas afectan solamente a cuerpos muy esbeltos.

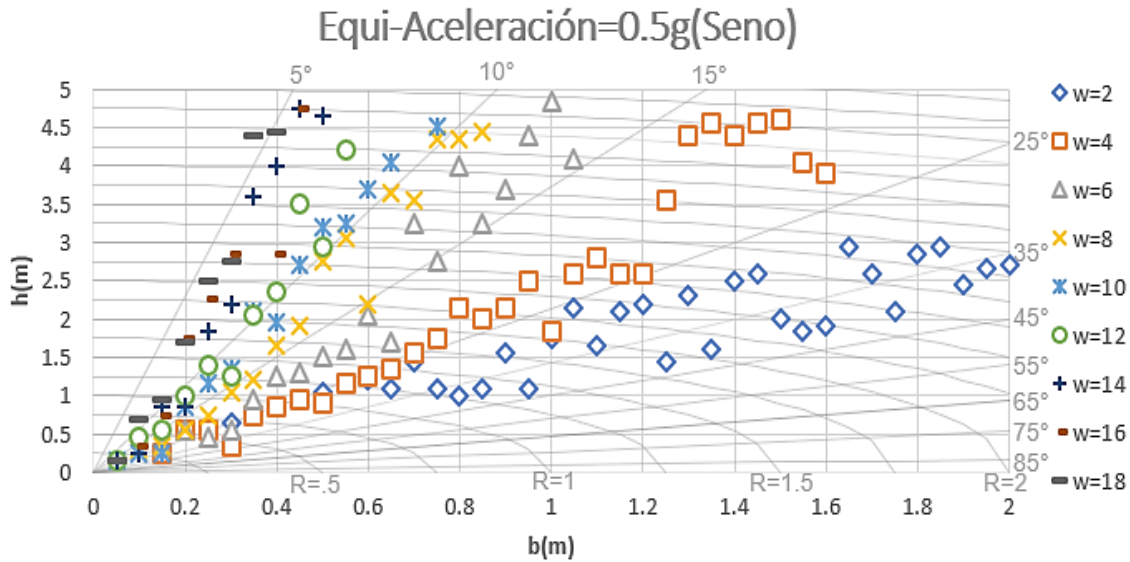


Figura 3.2.2. Curva de equi-aceleración 0.5g de un seno de amplitud constante (MSAC) (frecuencia $w=[\text{rad/s}]$).

La Figura 3.2.3 representa la relación del número de impactos antes del volteo respecto a la relación de esbeltez α y la frecuencia del movimiento. Se confirma que, conforme más alta es la frecuencia del movimiento, los cuerpos con relación de esbeltez menor (más esbeltos) son más vulnerables.

Adicionalmente y para este tipo de movimiento, el 28% de los cuerpos se voltearon súbitamente ($\#$ de impactos = 0) y estos corresponden a cuerpos muy esbeltos ($b/h < 3$) y frecuencias bajas, mientras que los cuerpos que corresponden a frecuencias altas el número de impactos presentados antes del volteo se encuentran más dispersos. Es importante mencionar que el 41.6% de los cuerpos que fallaron por volteo presentaron 2 o menos impactos, el 27.1% presentaron de 3 a 10 y el 31.2% más de 10 impactos, es decir, este tipo de función armónica provoca, en su mayoría, volteos prácticamente súbitos.

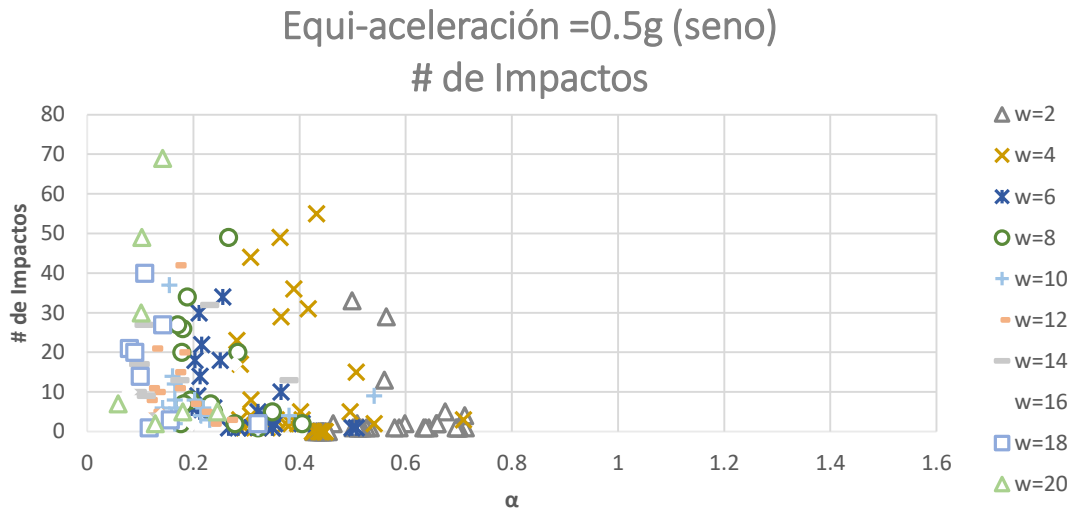


Figura 3.2.3. Número de impactos para equi-aceleración 0.5g de un seno de amplitud constante (MSAC) (frecuencia w =rad/s).

En cuanto a la energía total presentada al momento del inicio del volteo (Figura 3.2.4) con respecto a la esbeltez del cuerpo, se nota claramente que, para los cuerpos que fallaron por volteo ante movimientos de frecuencia baja, 2 y 4 rad/s, (la mayoría presentaron volteo súbito) la cantidad de energía disipada fue muy poca (su energía total permaneció mayor a 10 J), por lo que, al momento de iniciar el volteo la energía total E_T es considerablemente mayor respecto la de los cuerpos que fallaron ante frecuencias más altas (el cambio es visible a partir de una frecuencia w de 6 rad/s) y que en 40.3% evidenciaron un mayor número de impactos (10 o más).

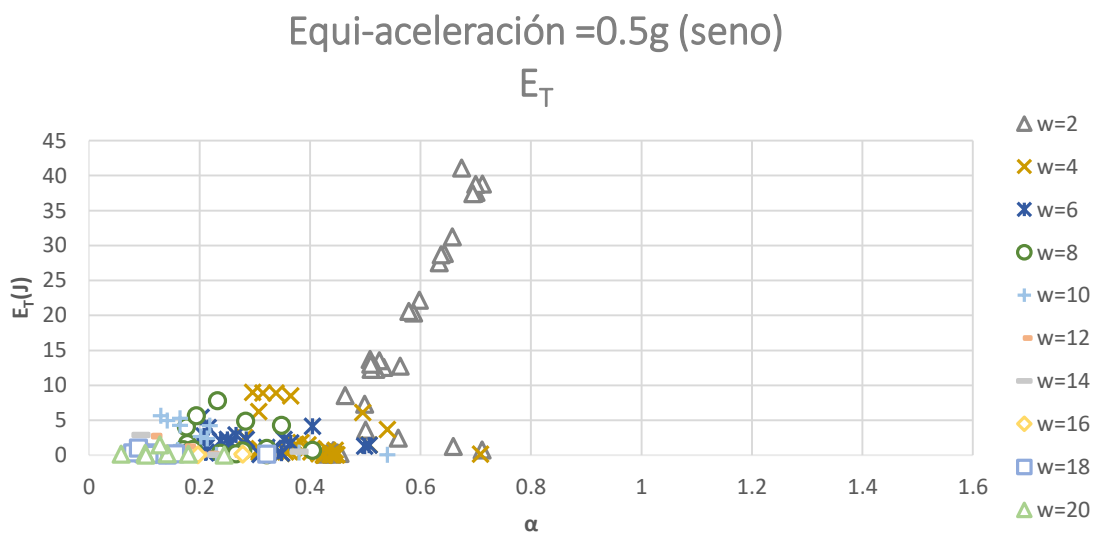


Figura 3.2.4. Energía total en el momento del volteo para equi-aceleración 0.5g de un seno de amplitud constante (MSAC) (frecuencia w =rad/s).

La Figura 3.2.5 muestra una curva de equi-aceleración igual a $0.7g$ (6.867 m/s^2) de senos de amplitud variable, estos van desde una amplitud máxima $A_{max}=0.1g$ hasta $A_{max}=1g$ con frecuencia angular de $w=2 \text{ rad/s}$ hasta 20 rad/s . Se observa el mismo comportamiento que con el seno de amplitud constante (fig.3.2.2), conforme va creciendo el valor de la frecuencia del movimiento (el cambio es más visible a partir de una frecuencia w de 6 rad/s), la altura mínima de volteo para el mismo valor de semi-base b es mayor, es decir las frecuencias altas solamente afectan a cuerpos muy esbeltos ($\alpha > 20^\circ$).

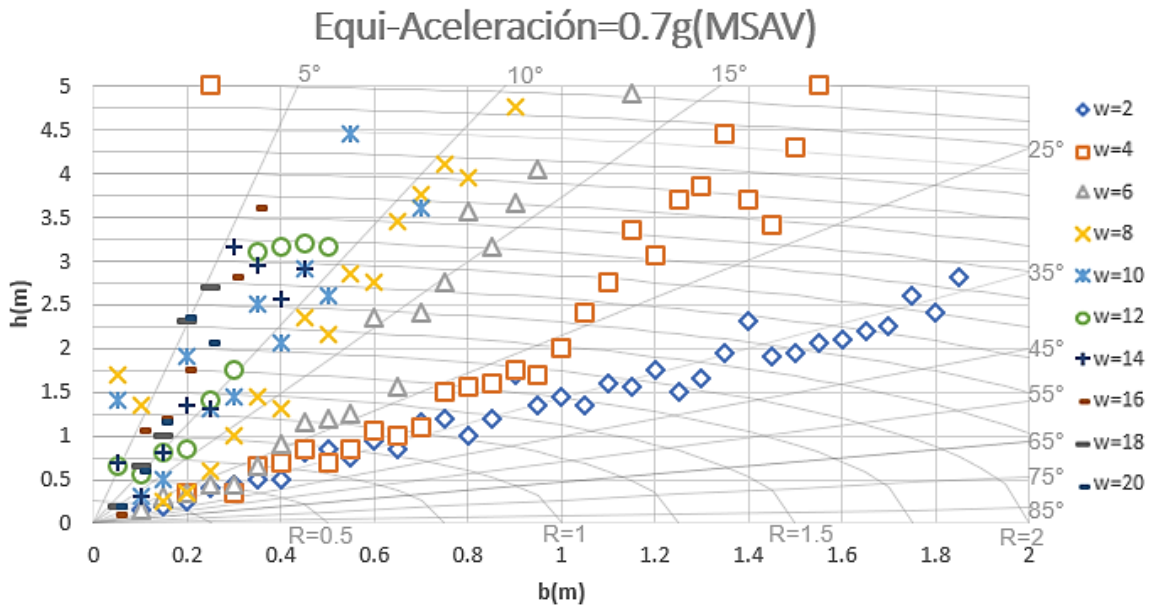


Figura 3.2.5. Curva de equi-aceleración $0.7g$ de un seno de amplitud variable (MSAV) (frecuencia $w=\text{rad/s}$).

La Figura 3.2.6 representa la relación del número de impactos con respecto a la relación de esbeltez α y la frecuencia del movimiento. Se confirma que conforme más alta es la frecuencia del movimiento, también crece la relación de esbeltez de los cuerpos que son vulnerables. Se observa que este movimiento prácticamente no provoca volteos súbitos (el 78.6% de los cuerpos presentaron 10 o más impactos hasta el momento del volteo) y que conforme crece la frecuencia (el cambio es más visible a partir de $w=6 \text{ rad/s}$), los cuerpos vulnerables son más esbeltos ($\alpha < 0.3$).

En la Figura 3.2.7, se representa la energía total presentada al momento que inicia el volteo con respecto a la esbeltez del cuerpo y claramente se nota que para los cuerpos afectados por frecuencias altas (a partir de $w=10 \text{ rad/s}$) y que presentan un gran número de impactos (10 o más), la energía disipada es mayor, por lo que al momento de iniciar el volteo la energía total ET es muy pequeña (entre 0.01 y 2 J) comparada a la de los cuerpos afectados por frecuencias bajas (entre 0.01 y 12 J).

Equi-aceleración=0.7g (MSAV)
de Impactos

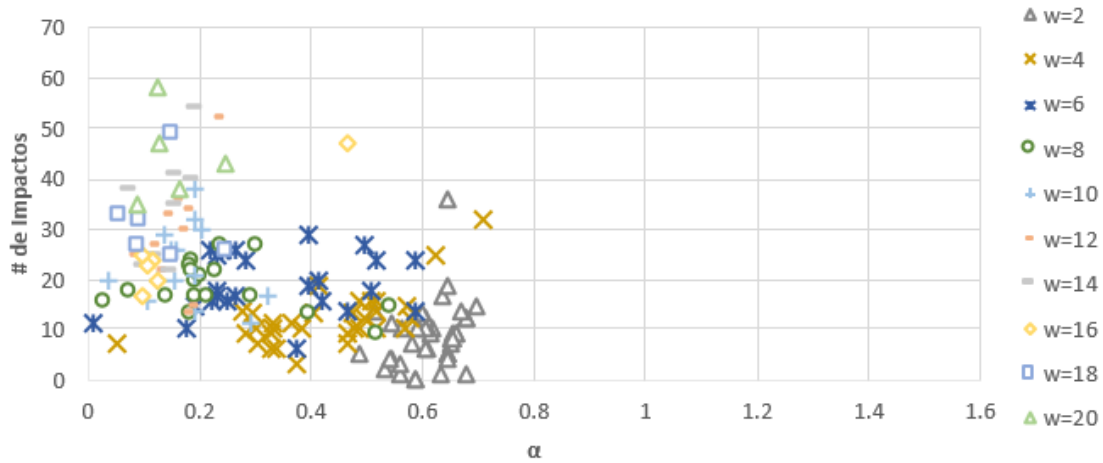


Figura 3.2.6. Número de impactos para equi-aceleración 0.7g de un seno de amplitud variable (MSAV) (frecuencia w =rad/s).

Equi-aceleración=0.7g (MSAV)
 E_T

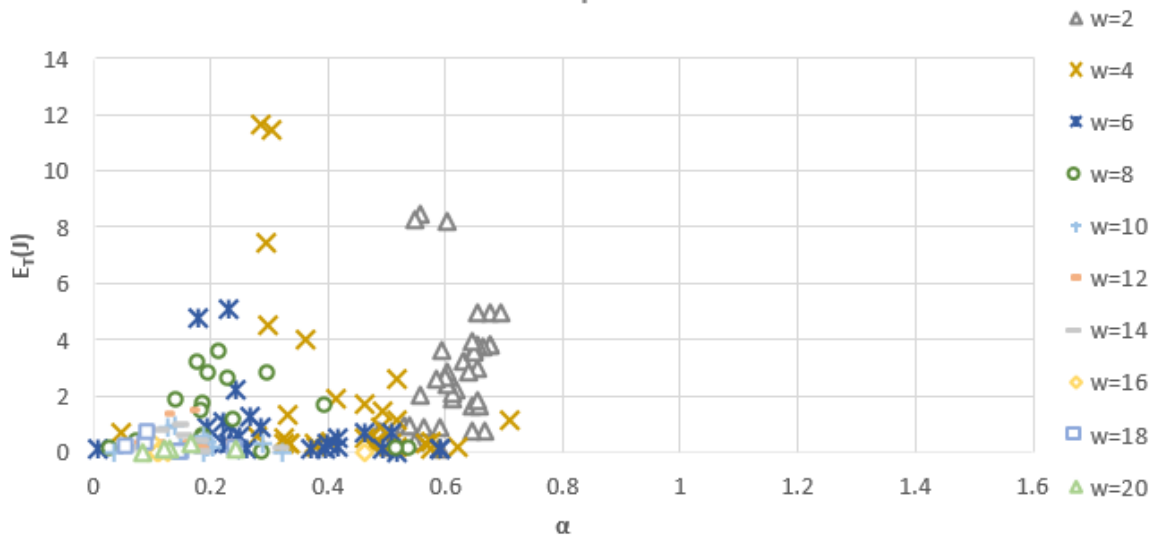


Figura 3.2.7. Energía total en el momento del volteo para equi-aceleración 0.7g de un seno de amplitud variable (MSAV) (frecuencia w =rad/s).

3.2.2. CURVAS DE EQUI-VELOCIDAD

En la Figura 3.2.2.1 se muestra las curvas correspondientes a una velocidad de 0.7 m/s en la que participan senos de amplitud constante (MSAV) con velocidad de 0.1 m/s hasta 2 m/s y frecuencias de 2 rad/s hasta 20 rad/s. En este caso e independientemente de la frecuencia angular, la zona límite de las curvas de volteo se estrecha haciendo pensar que para una velocidad crítica referente de 0.7 m/s se podría especificar con una desviación mínima, un límite inferior que abarque todos los casos.

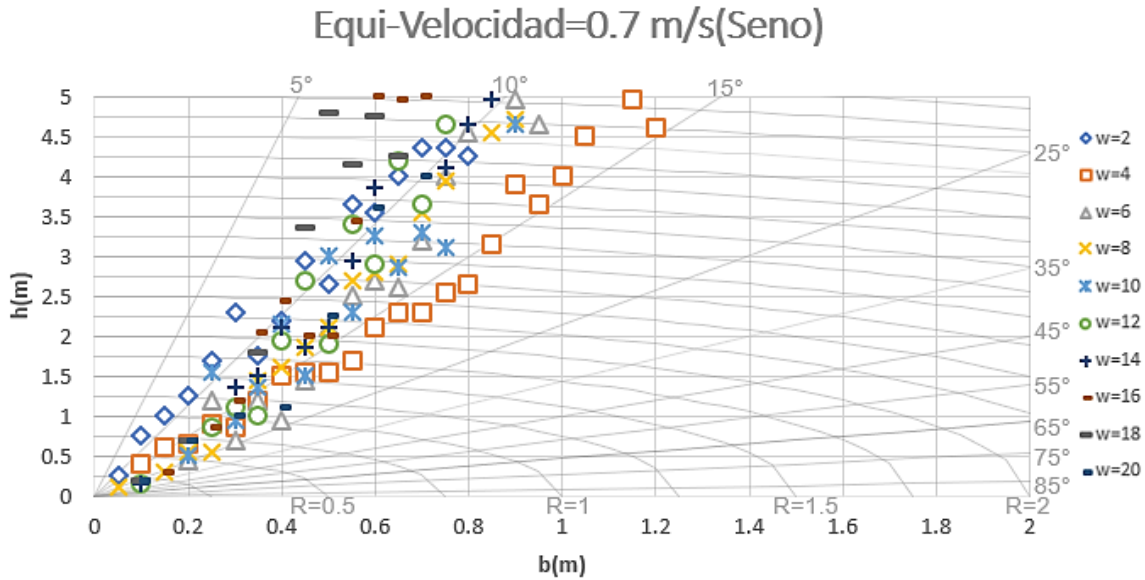


Figura 3.2.8. Curva de equi-velocidad 0.7m/s de un seno de amplitud constante (MSAC) (frecuencia w =rad/s).

Como se percibe en la Figura 3.2.9, el número de impactos requeridos antes del volteo, independientemente de la esbeltez o frecuencia del movimiento, se concentran entre 0 y 3 (37.7% de los cuerpos) y entre 3 y 10 impactos (36%), por lo que se podría considerar que la mayoría de los cuerpos fallan por volteo súbito.

En la Figura 3.2.10 no se puede apreciar una tendencia clara, dado que como se notó en la Figura 3.2.9, el número de golpes parece ser constante a pesar de tratarse de cuerpos de distintas esbelteces y frecuencias del movimiento; y como consecuencia la cantidad de energía disipada también es muy parecida para todas las frecuencias, es decir la energía total del cuerpo al momento del volteo permanece dentro del mismo rango (0.01 y 2.2 J).

Además, se puede notar que el rango de cuerpos afectados es muy reducido ($0.01 \leq \alpha \leq 0.4$), ya que prácticamente abarca a cuerpos muy esbeltos ($\alpha \leq 0.3$).

Equi-velocidad=0.7 m/s (seno)
de Impactos

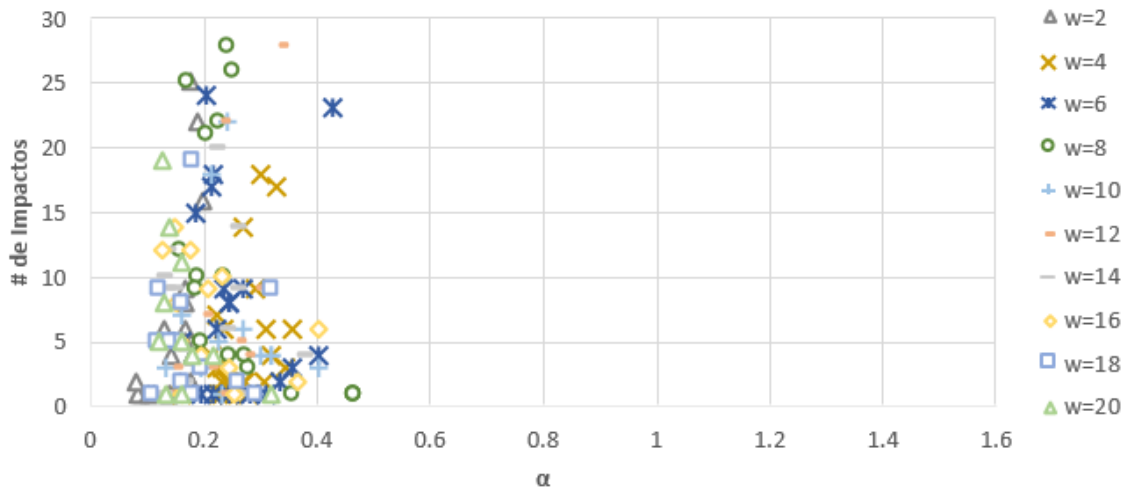


Figura 3.2.9. Número de impactos para equi-velocidad 0.7m/s de un seno de amplitud constante (MSAC) (frecuencia w =rad/s).

Equi-velocidad=0.7 m/s (seno)
 E_T

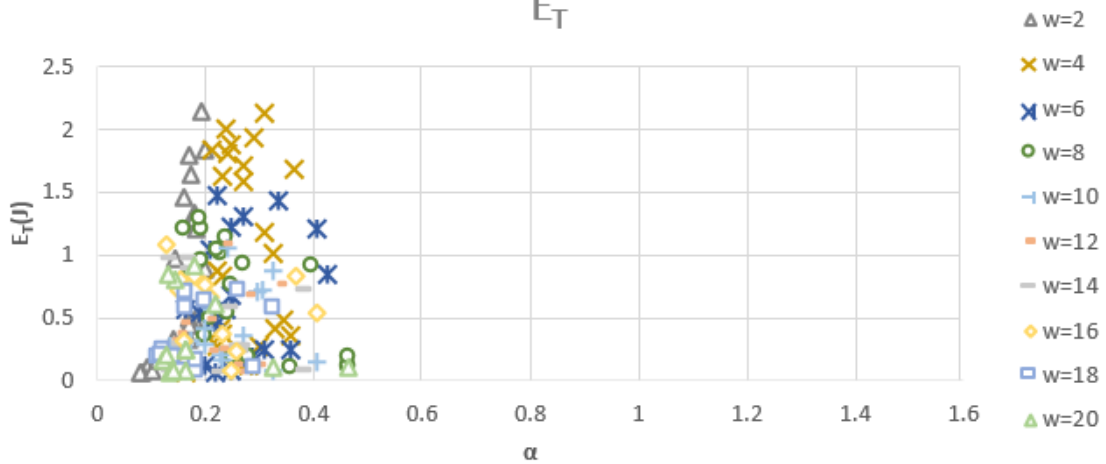


Figura 3.2.10. Energía total en el momento del volteo para equi-velocidad 0.7m/s de un seno de amplitud constante (MSAC) (frecuencia w =rad/s).

La Figura 3.2.11 muestra la curva correspondiente a una velocidad de 1m/s en la que participan senos de amplitud variable (MSAV) con velocidad de 0.2 m/s hasta 2 m/s y frecuencias de 2 rad/s hasta 20 rad/s. Al igual que en el caso del seno de amplitud constante, la diferencia de dimensiones de los cuerpos que son afectados por distintas frecuencias no es demasiada, se puede ver que la zona de volteos es bastante compacta.

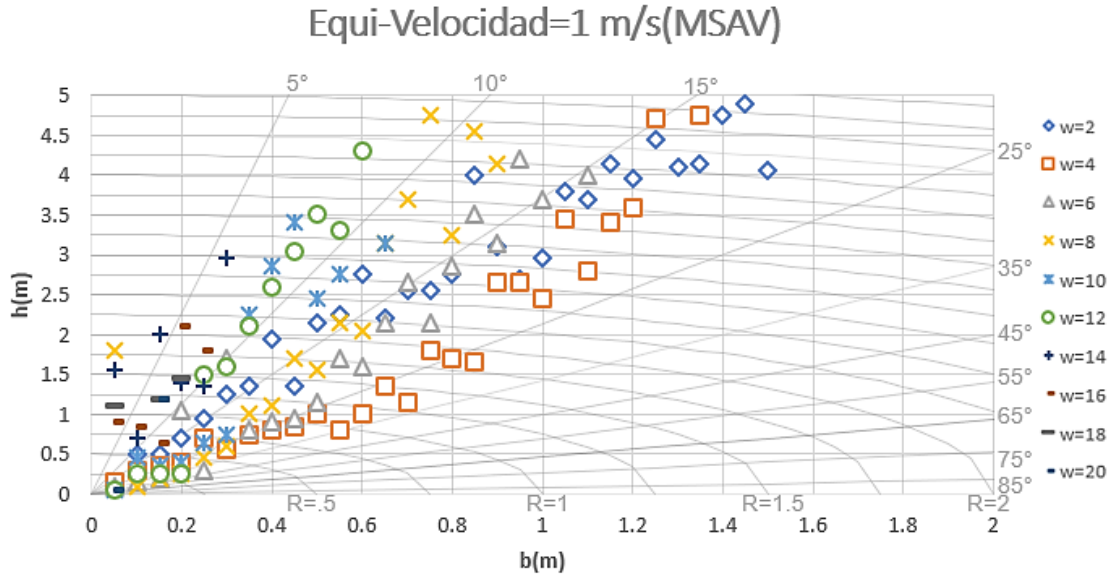


Figura 3.2.11. Curva de equi-velocidad 0.8m/s de un seno de amplitud variable (MSAV) (frecuencia $w=\text{rad/s}$).

En este caso, como se puede observar en la Figura 3.2.12, la mayoría de los cuerpos (64.7%) presenta 10 o más impactos hasta el momento del inicio del volteo, esto concuerda con los resultados de equi-aceleración para el mismo tipo de movimiento. También se puede percibir que para frecuencias bajas ($2 \leq w \leq 6$) el 47.8% de los cuerpos presentaron menos de 10 impactos; el efecto de esta peculiaridad se puede notar también en la Figura 3.2.13, ya que para estas frecuencias se ven dos tipos de resultados muy diferentes, uno donde la energía total del cuerpo antes del volteo E_t se encuentra entre los 3 y 6 J y el segundo donde se encuentra entre 0.01 y 1 J.

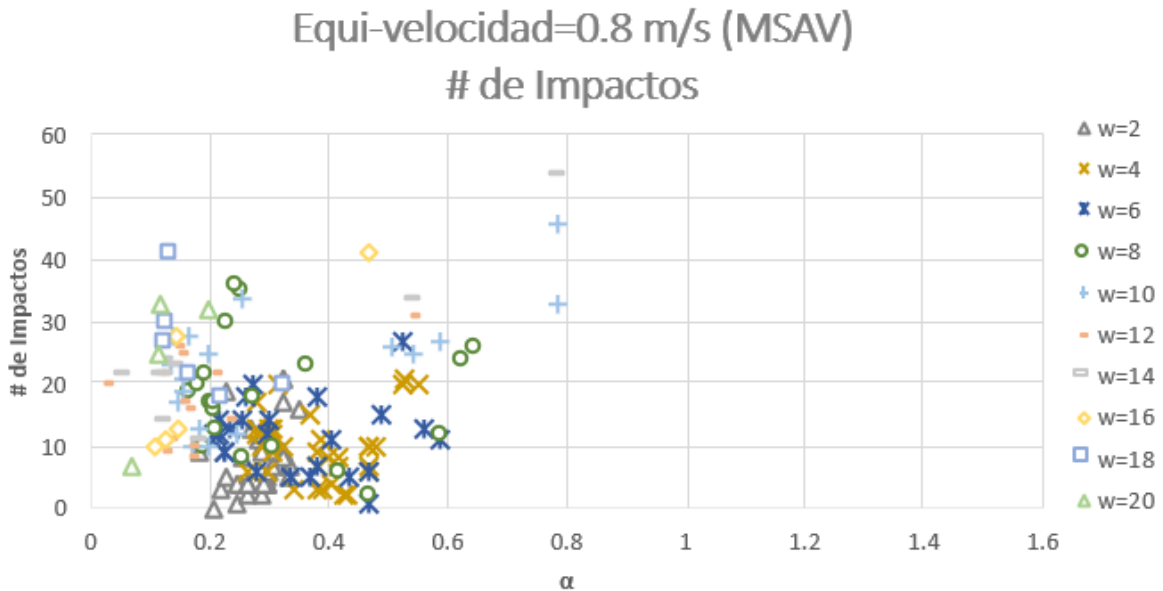


Figura 3.2.12. Número de impactos para equi-velocidad 0.8m/s de un seno de amplitud variable (MSAV) (frecuencia $w=\text{rad/s}$).

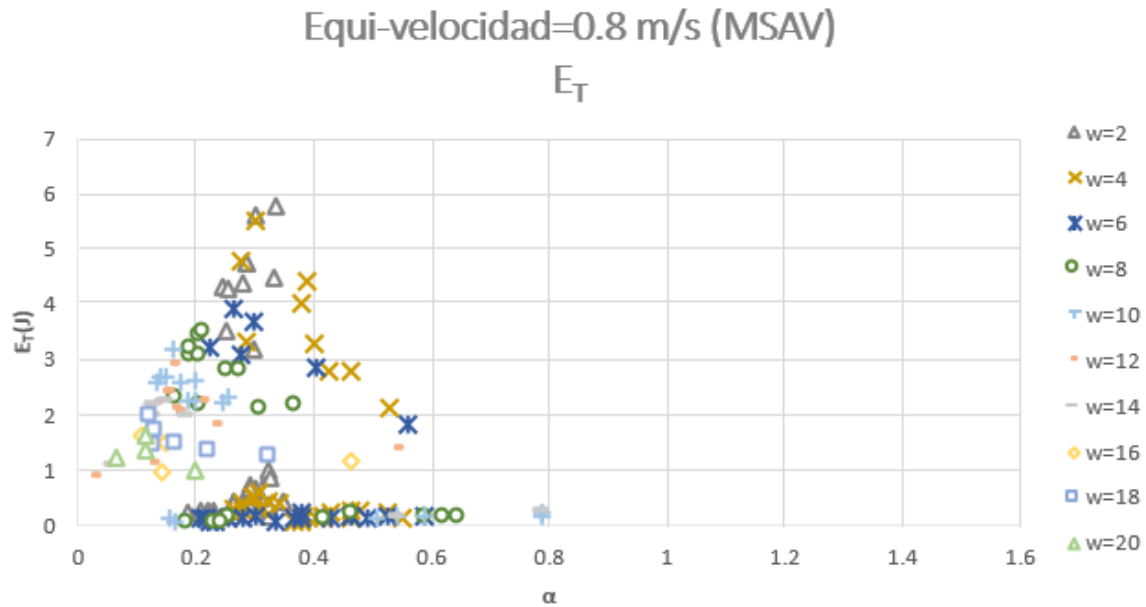


Figura 3.2.13. Energía total en el momento del volteo para equi-velocidad 0.8m/s de un seno de amplitud variable (MSAV) (frecuencia w =rad/s).

3.2.3. CURVAS DE EQUI-DESPLAZAMIENTO

Para esta intensidad pico, solamente se pudo obtener las curvas de equi-desplazamiento asociadas al movimiento tipo senoidal de amplitud variable (MSAV), dado que, por el procedimiento de escalamiento de los movimientos, las señales de tipo seno de amplitud constante y pulso de Ricker presentaron aceleraciones muy pequeñas o ilógicamente altas para los rangos de desplazamiento propuestos.

En la Figura 3.2.14, se puede apreciar que ante movimientos con un desplazamiento máximo de 0.45m, el comportamiento de este tipo de curvas es muy diferente comparado con el de curvas de equi-aceleración y equi-velocidad; las frecuencias bajas ($w < 4$ rad/s) afectan preferentemente a cuerpos esbeltos, mientras que las altas ($w > 10$ rad/s) afectan a cuerpos muy robustos ($\alpha > 20^\circ$).

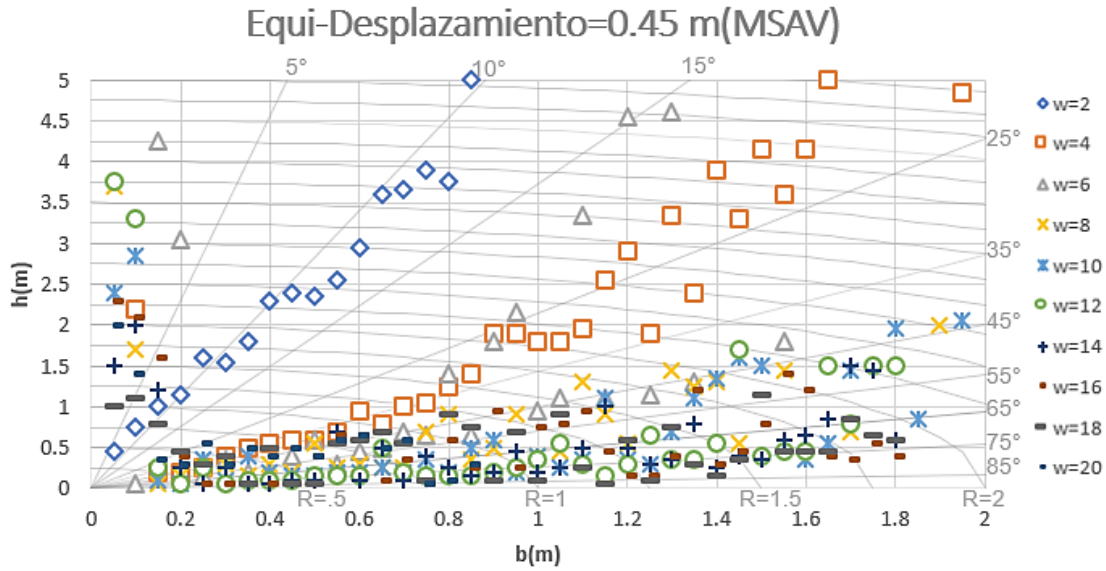


Figura 3.2.14. Curva de equi-desplazamiento 0.45m de un seno de amplitud variable (MSAV) (frecuencia w =rad/s).

Como se puede observar en la Figura 3.2.15, aparentemente, el número de impactos antes del volteo para este caso depende de la frecuencia de la excitación, así como de la esbeltez del cuerpo; cuerpos robustos ($\alpha > 0.3$) presentan un mayor número de impactos antes del volteo y son afectados preferiblemente por movimientos de frecuencia alta (el cambio se puede notar a partir de $w=6$ rad/s).

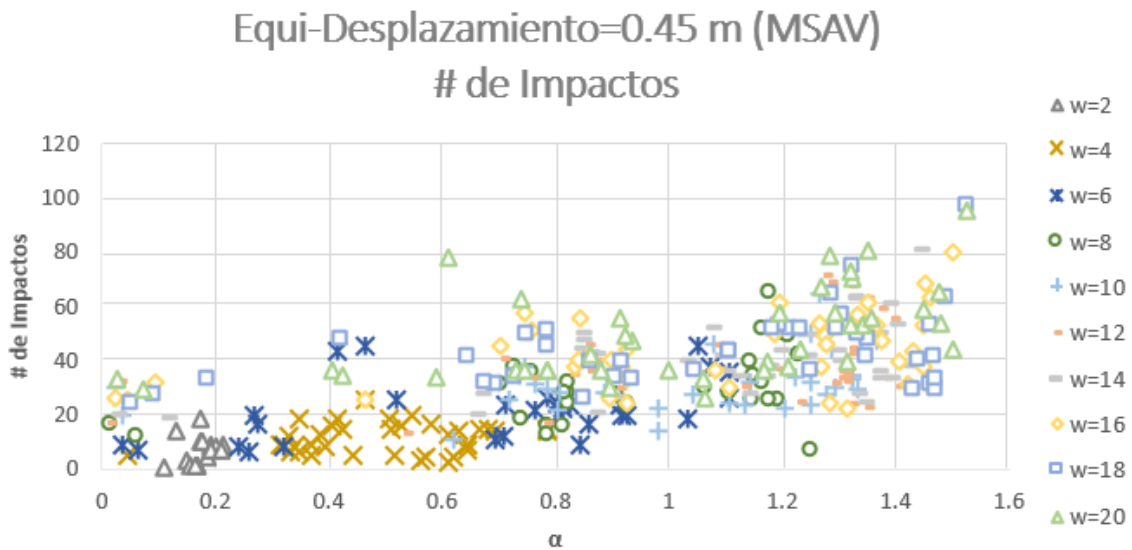


Figura 3.2.15. Número de impactos para equi-desplazamiento 0.45m de un seno de amplitud variable (MSAV) (frecuencia w =rad/s).

Equi-Desplazamiento=0.45 m (MSAV)

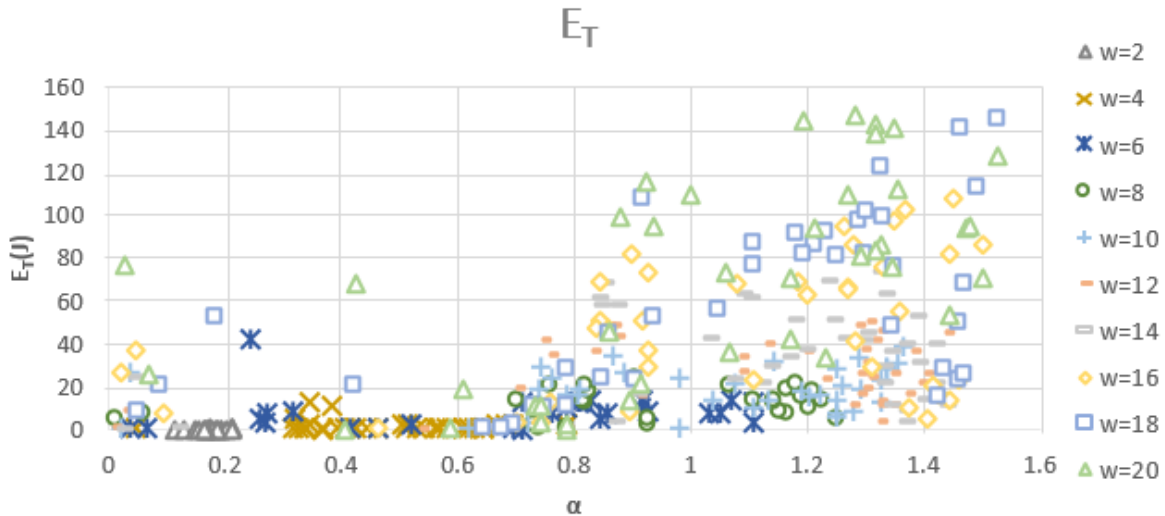


Figura 3.2.16. Energía total en el momento del volteo para equi-desplazamiento 0.45m de un seno de amplitud variable (MSAV) (frecuencia $w=\text{rad/s}$).

3.2.3 CURVAS DE EQUI-INTENSIDAD DE ARIAS NORMALIZADA

Este tipo de curvas representan punto a punto, dimensiones críticas para las cuales, ante una cantidad de energía del movimiento, un cuerpo rígido se voltea. Para su obtención se consideraron los tres tipos de movimientos (seno, MSAV y pulso de Ricker), con frecuencias de 2 rad/s a 20 rad/s y con aceleraciones máximas A_{max} de 0.981 m/s² a 9.81 m/s².

En general, se pudo observar (Figura 3.2.17) que la mayor parte de los cuerpos analizados, aproximadamente el 48%, requieren una intensidad de arias normalizada ($I_A(\text{volteo}) / I_{A\text{Total}}$) muy pequeña (so el 0.05 de la energía total del movimiento); es decir, casi el 50% del universo de cuerpos analizados requirió cantidades de energía mínimas para fallar por volteo.

Con ayuda de la Figura 3.2.18 a), podemos notar que el seno de amplitud constante fue el movimiento que provocó más volteos, lo que quiere decir que para que un cuerpo falle por volteo con un movimiento de estas características se requiere utilizar muy poca energía (5% de la energía total del movimiento), mientras que si observamos la Figura 3.2.18 b), podemos ver que para una intensidad de Arias normalizada casi igual a 1, el pulso de Ricker fue el movimiento que causó más volteos, lo que nos dice que un cuerpo tiene que utilizar toda o casi toda la energía disponible de un pulso de Ricker para poder voltearse.

EQUI-INTENSIDAD DE ARIAS

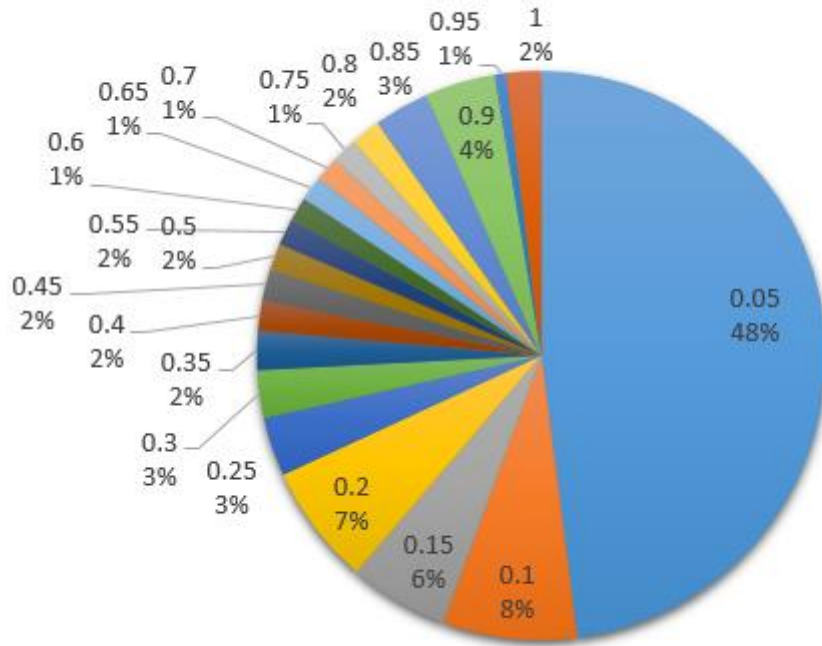
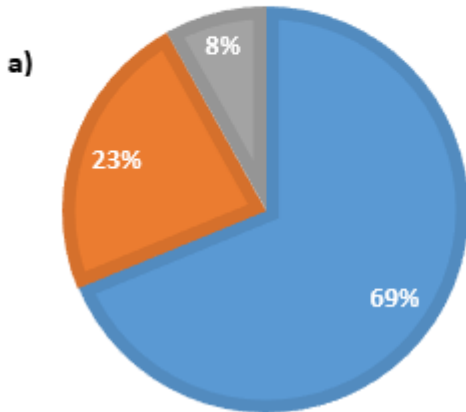


Figura 3.2.17. Porcentaje de cuerpos volteados para cada nivel de energía.

$I_A(\text{NORMALIZADA})=0.05$

■ Seno ■ MSAV ■ Ricker



$I_A(\text{NORMALIZADA})=1$

■ Seno ■ MSAV ■ Ricker

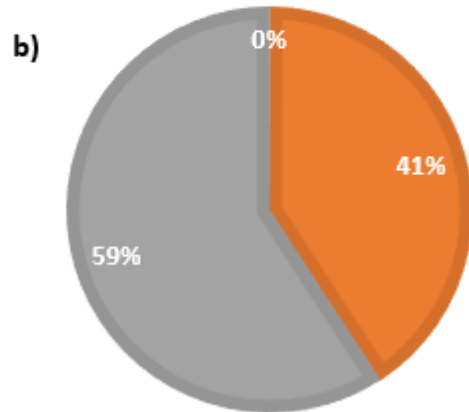


Figura 3.2.18. Porcentaje de volteos para distintos niveles de energía.

De acuerdo con la Figura 3.2.19, en general podemos señalar que, conforme se incrementa la relación de energía requerida para el volteo también crece la esbelteza de los cuerpos que se ven afectados (las curvas son menos acostadas); como consecuencia de ello, la cantidad de cuerpos que podrían fallar por volteo disminuye (esto se puede ver por el número de puntos en la gráfica para cada categoría).

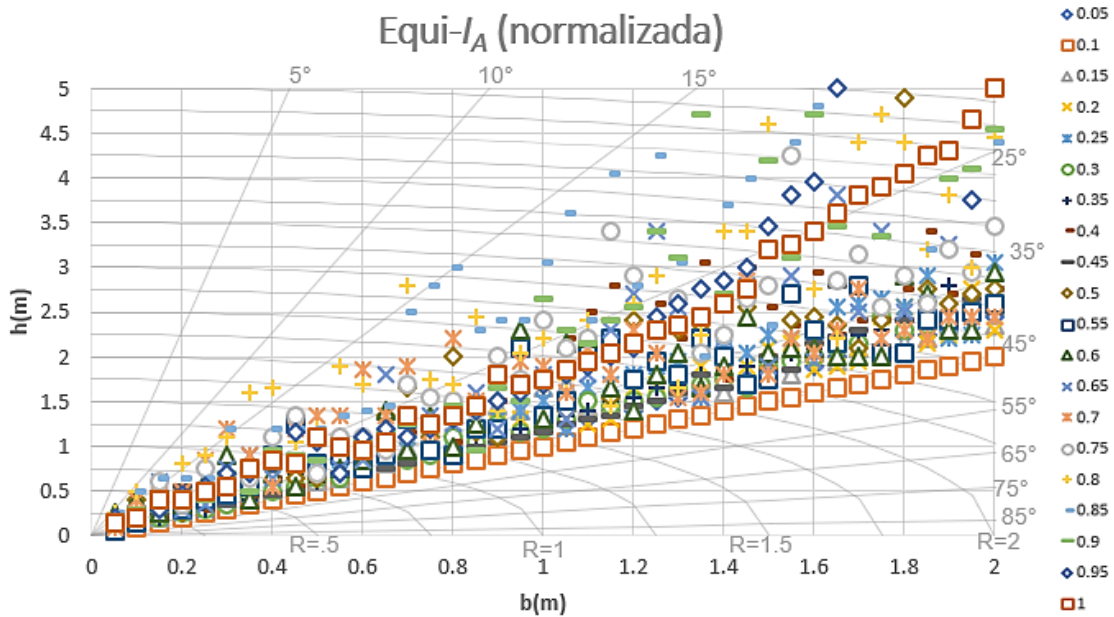


Figura 3.2.19. Curvas de equi-intensidad de Arias normalizada.

3.3. CURVAS DE EQUI-EXCENTRICIDAD

De la Figura 3.3.1 a 3.3.6, se pueden apreciar universos de volteo para una excentricidad horizontal $e_x=0.5$. b ; es decir, la dimensión de la base menor del cuerpo es 0.5 veces la de la sub-base mayor.

Para una mejor organización y comprensión de los datos obtenidos, todas las figuras se referenciaron a la semi-base izquierda b_L del cuerpo; por lo que, en las Figuras 3.3.1, 3.3.2 y 3.3.3, se muestran los universos de volteo referenciados a la base izquierda del cuerpo cuando esta es mayor, mientras que las Figuras 3.3.4, 3.3.5 y 3.3.6 se encuentran referenciados a la base izquierda b_L cuando la misma es menor.

En general, las curvas que se encuentran referenciadas a la semi-base b_L mayor del cuerpo presentan el mismo comportamiento; conforme es más alto el valor de la frecuencia del movimiento, también crece la esbelteza requerida de los cuerpos para que se vean afectados. Además de que, la cantidad de cuerpos afectados disminuye mientras la frecuencia del movimiento aumenta.

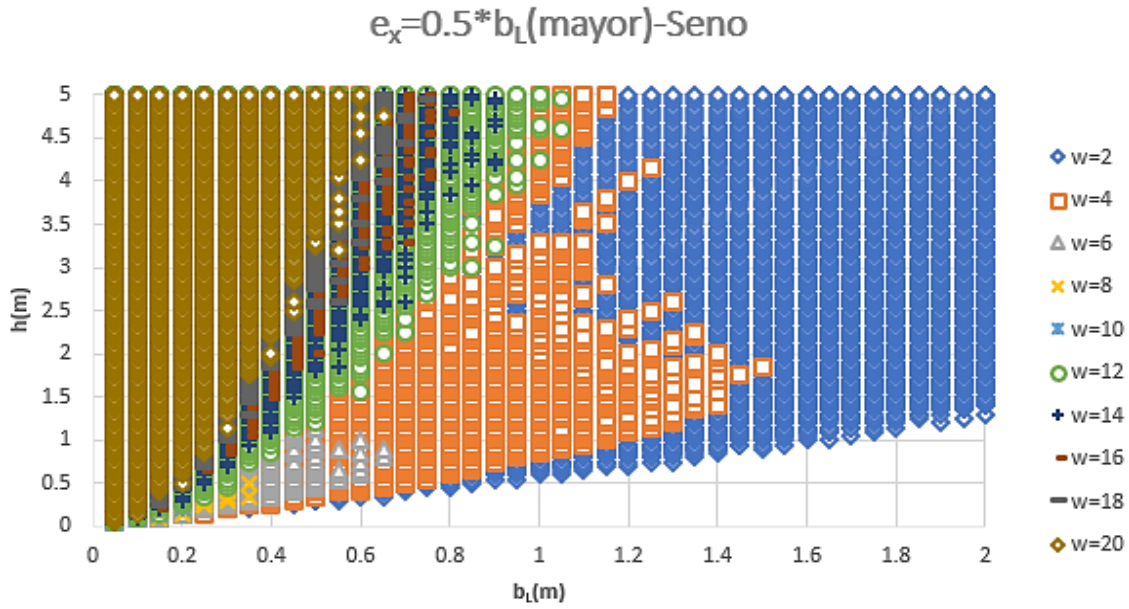


Figura 3.3.1. Universo de volteo para equi-excentricidad de $0.5*b_L$, para un seno de amplitud constante y semi-base b_L mayor. $w=[\text{rad/s}]$

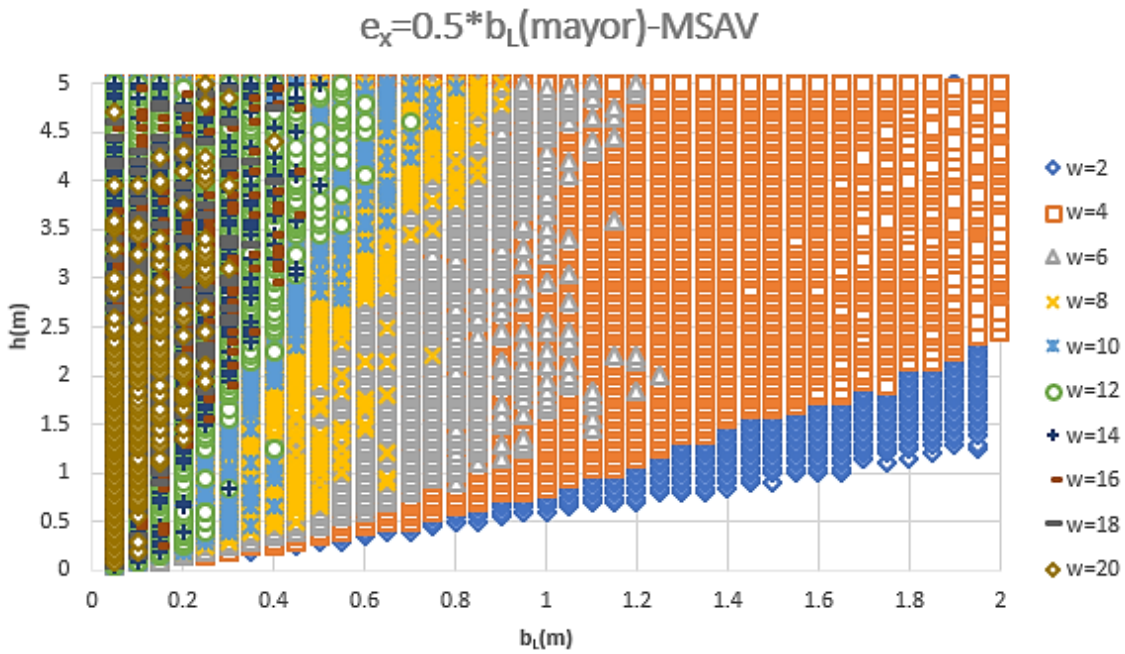


Figura 3.3.2. Universo de volteo para equi-excentricidad de 0.5 para un seno de amplitud variable y b_L mayor. $w=[\text{rad/s}]$.

$e_x=0.5*b_L(\text{mayor})$ -Pulso de Ricker

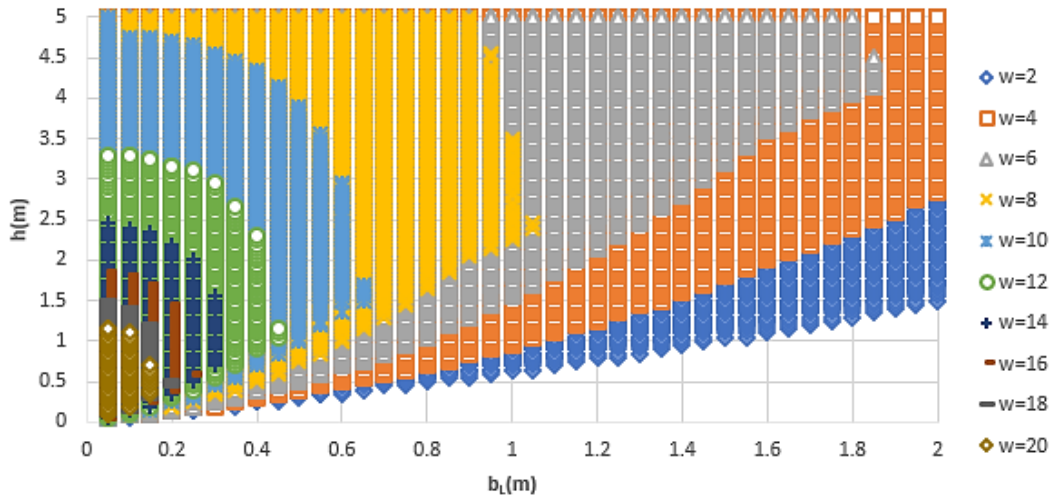


Figura 3.3.3. Universo de volteo para equi-excentricidad de 0.5 para un pulso de Ricker y b_L mayor. $w=[\text{rad/s}]$.

En cuanto a las figuras que se encuentran referenciadas a la semi-base b_L menor del cuerpo rígido (Figuras 3.3.4, 3.3.5 y 3.3.6), es claro que, conforme crece la frecuencia del movimiento al que se somete el cuerpo, se identifican pequeñas zonas de seguridad (zonas donde no hubo cuerpos que fallaron por volteo, en las figuras se perciben como regiones vacías o huecos) dentro del universo de volteos, esta es una peculiaridad que se encontró en los resultados de esta investigación a pesar de que las dimensiones de los cuerpos que pertenecen a estas zonas no corresponden a cuerpos encontrados en la realidad.

$e_x=0.5*b_L(\text{menor})$ -Seno

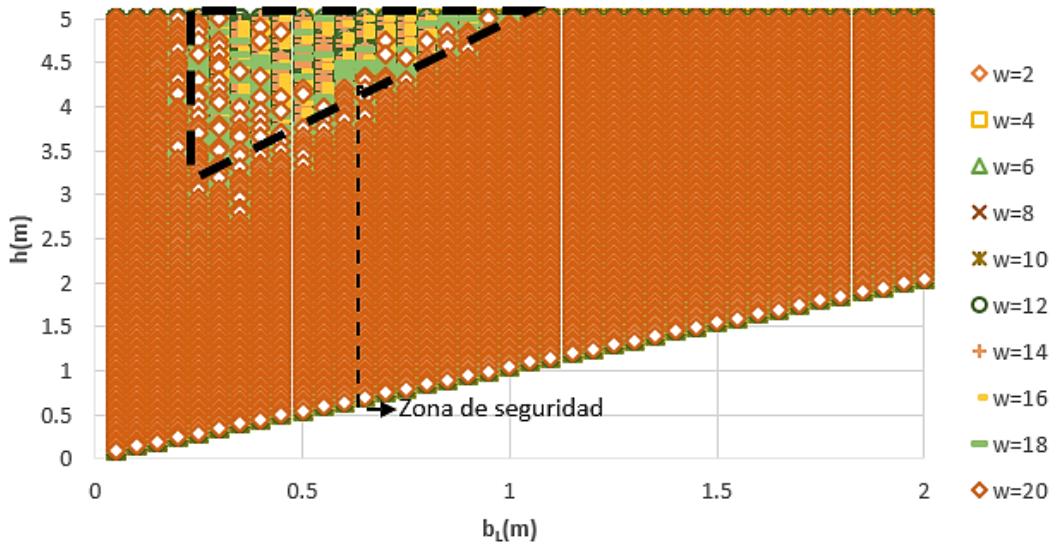


Figura 3.3.4. Universo de volteo para equi-excentricidad de 0.5 para un seno de amplitud constante y b_L menor. $w=[\text{rad/s}]$.

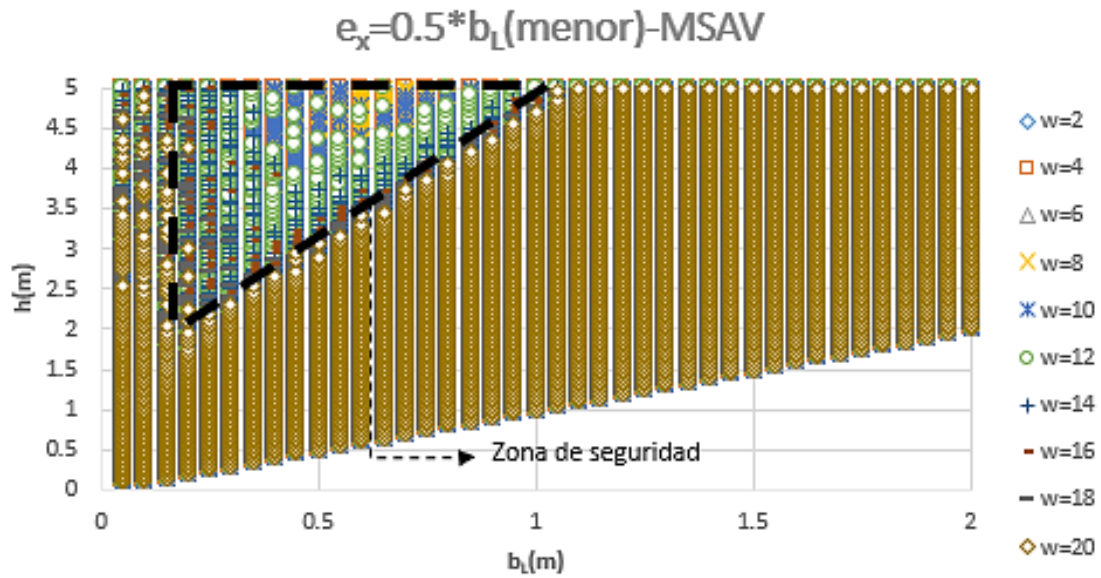


Figura 3.3.5. Universo de volteo para equi-excentricidad de 0.5 para un seno de amplitud variable y b_L menor. $w=[\text{rad/s}]$.

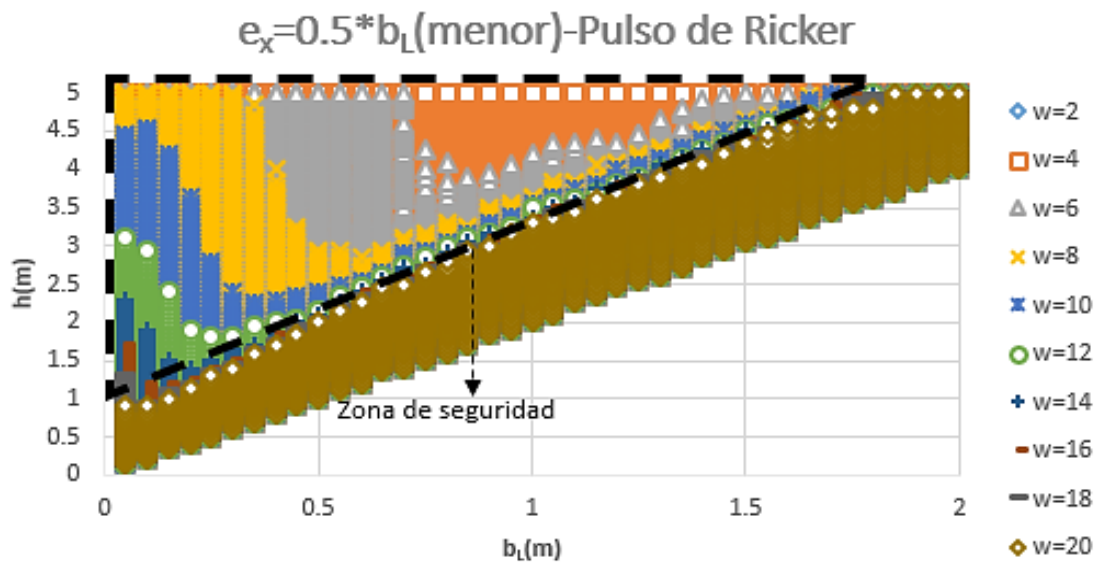


Figura 3.3.6. Universo de volteo para equi-excentricidad de 0.5 para un pulso de Ricker y b_L menor. $w=[\text{rad/s}]$.

4. AYUDAS DE DISEÑO PARA USO EN INGENIERIA PRÁCTICA

4.1. EQUI-ACELERACIÓN

A continuación, se hará una breve explicación del proceso que se siguió para simplificar la obtención de curvas de volteo para equi-aceleraciones previamente definidas. Como datos de entrada el usuario simplemente requiere saber tres datos fundamentales:

1. Las dimensiones del cuerpo que se desea analizar, es decir su semi-base b .
2. La frecuencia del movimiento; dado que en este trabajo se realizó el análisis con funciones armónicas con la intención de representar y de alguna manera simplificar distintos tipos de sismos, debe utilizarse la señal que mejor se ajuste a las características del movimiento que se desea analizar (por ejemplo aproximar un sismo de fuente cercana con un pulso de Ricker o uno de fuente lejana con un MSAV) y obtener su frecuencia fundamental con el método de preferencia, por su conveniencia y precisión se recomienda utilizar la metodología de Rathje (1998).
3. Equi-aceleraciones a las que se cree que el cuerpo puede ser vulnerable. Este se trata de un parámetro muy difícil de definir, ya que de alguna manera obtener ese dato es el objetivo de toda esta investigación, pero en el caso de que no se desee revisar para todas las equi-aceleraciones disponibles, se sugiere tomar, de forma muy conservadora, el PGA de la señal a analizar. En caso de que no se encuentre exactamente la equi-aceleración que se requiera, redondear al inmediato inferior para mantener el análisis del lado conservador.

Como primer paso en todo el proceso que se siguió, se debe observar detenidamente la Figura 4.1.1, donde se puede notar que cada una de las curvas para diferentes frecuencias parecen comportarse como una función de tipo exponencial ($y=a*e(x*b)$), es por esto que se llevó a cabo una regresión para simplificar el manejo de los datos, así como un medio para que el usuario pueda calcular sus propias curvas.

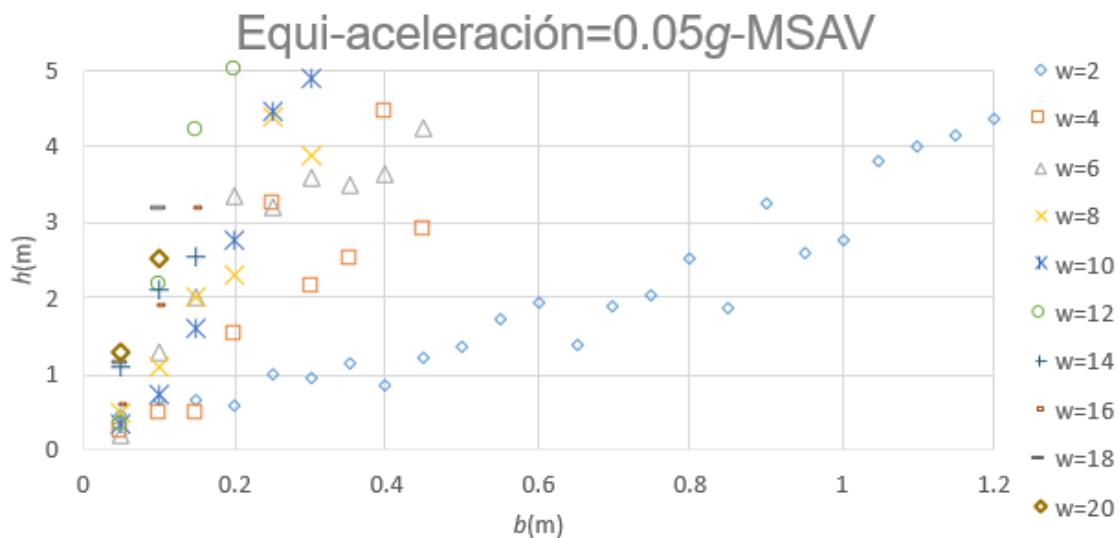


Figura 4.1.1. Curva de equi-aceleración igual a 0.5g para un MSAV.

Una vez realizado el ajuste exponencial, los parámetros obtenidos se organizaron de tal manera que se pudieran ver claramente para cada nivel de aceleración y para cada frecuencia de la función utilizada; la Tabla 4.1 es un ejemplo de la estructura que se le dio a los datos y para fines de comprensión del proceso a seguir, las llamaremos tablas tipo 1.

Tabla 4.1.1. Ejemplo de la organización de parámetros obtenidos de la regresión exponencial (tabla tipo 1).

Equi-aceleración=0.5g-MSAV		
Ajuste exponencial: $h = a_w * e^{(b_w * w)}$		
w	a_w	b_w
2	0.5716	1.702
4	0.981	2.957
6	1.332	2.742
8	1.182	3.687
10	0.5389	7.664
12	1.24	6.188
14	0.8965	7.201
16	0.4335	13.36
18	0.4198	20.15
20	0.676	13.08

Posteriormente se graficaron los valores de los parámetros obtenidos para cada nivel de aceleración contra la frecuencia del movimiento (Figuras 4.1.2 y 4.1.3). A estas curvas también se les realizó un ajuste, de tipo polinomial de tercer grado para el parámetro a_w (se debe tomar en cuenta que por el tipo de regresión efectuada siempre se debe de permanecer dentro del rango de $w=2$ rad/s hasta 20 rad/s para que los resultados sean confiables) y de tipo exponencial para el parámetro b_w .

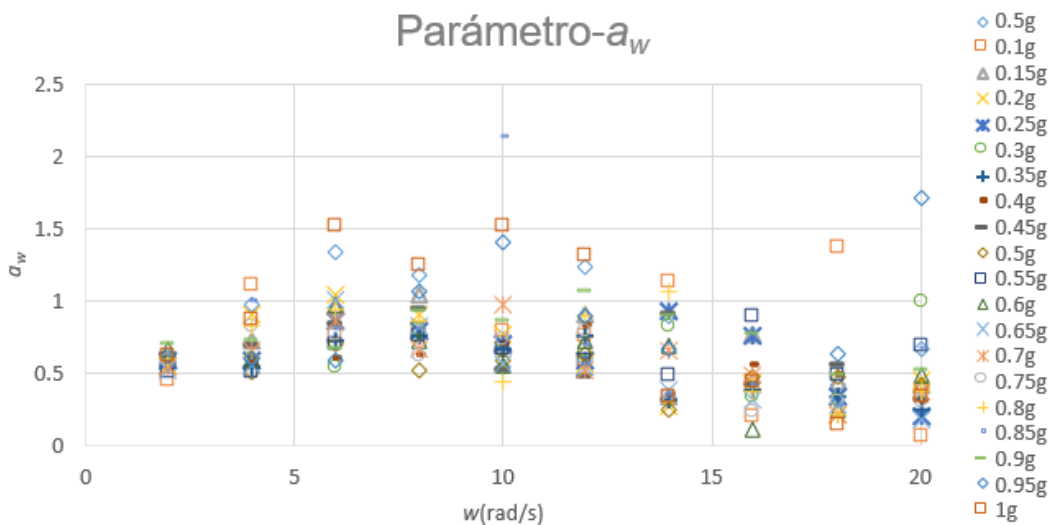


Figura 4.1.2. Valor del parámetro a_w vs frecuencia de MSAV para cada valor de equi-aceleración.

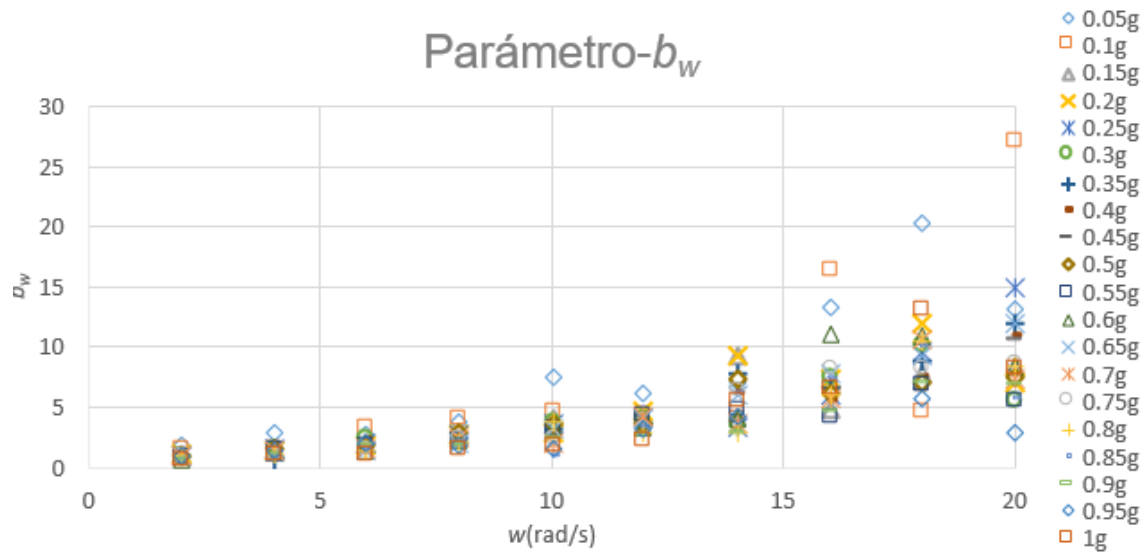


Figura 4.1.3. Valor del parámetro b_w vs frecuencia de MSAV para cada valor de equi-aceleración.

Las Tablas 4.1.2 y 4.1.3 corresponden a los valores obtenidos de los ajustes realizados para obtener los parámetros a_w y b_w , cada uno corresponde a una equi-aceleración distinta. Para fines de comprensión del proceso las llamaremos Tablas tipo 2 y tipo 3 respectivamente. Utilizando los datos mostrados en estas tablas ya es posible construir las curvas de equi-aceleración que se deseen.

Tabla 4.1.2. Valor de los parámetros obtenidos del ajuste polinomial (tabla tipo 2).

Tipo de movimiento: MSAV				
Ajuste polinomial de 3 ^{er} grado: $y=e+fx+gx^2+hx^3$				
Equi-aceleración	e	f	g	h
0.05g	-0.0118	0.3881	-0.0385	0.0010
0.1g	0.1298	0.1909	-0.0131	0.0002
0.15g	0.0413	0.2834	-0.0269	0.0007
0.2g	-0.0057	0.3702	-0.0409	0.0012
0.25g	0.1202	0.1640	-0.0103	0.0001
0.3g	0.0407	0.2489	-0.0267	0.0008
0.35g	0.0537	0.2214	-0.0209	0.0005
0.4g	0.0913	0.1697	-0.0139	0.0003
0.45g	0.1104	0.2211	-0.0206	0.0005
0.5g	0.0975	0.1903	-0.0196	0.0005
0.55g	0.0645	0.1921	-0.0176	0.0005
0.6g	0.0562	0.2856	-0.0305	0.0009

0.65g	0.0174	0.2728	-0.0279	0.0007
0.7g	0.0360	0.2499	-0.0233	0.0006
0.75g	0.0626	0.2721	-0.0285	0.0008
0.8g	0.0940	0.2419	-0.0213	0.0005
0.85g	-0.0705	0.4189	-0.0423	0.0011
0.9g	0.1282	0.1934	-0.0133	0.0002
0.95g	0.5541	-0.3477	0.0699	-0.0025
1g	-0.1223	0.4910	-0.0473	0.0012

Tabla 4.1.3. Valor de los parámetros del ajuste exponencial (tabla tipo 3).

Tipo de movimiento: MSAV		
Ajuste exponencial: $y=p*\exp(q*x)$		
Equi-aceleración	p	q
0.05g	1.5063	0.1258
0.1g	1.1919	0.1253
0.15g	1.0605	0.1135
0.2g	0.8596	0.1335
0.25g	0.8245	0.1328
0.3g	0.9907	0.1112
0.35g	0.5778	0.158
0.4g	0.871	0.1236
0.45g	0.7266	0.1326
0.5g	0.9088	0.1199
0.55g	0.9739	0.1031
0.6g	0.6442	0.1476
0.65g	0.6824	0.1479
0.7g	0.711	0.1304
0.75g	0.6574	0.143
0.8g	0.6283	0.1384
0.85g	0.568	0.1419
0.9g	0.6744	0.1204
0.95g	0.9206	0.0837
1g	0.4677	0.1592

Para mejorar la comprensión del proceso que un ingeniero en la práctica debe seguir para construir sus propias curvas de equi-aceleración (en caso de que la frecuencia de la señal a revisar sea diferente a las analizadas en esta investigación), se incluye el diagrama mostrado en la Figura 4.1.5, que resume los pasos que deben seguirse.

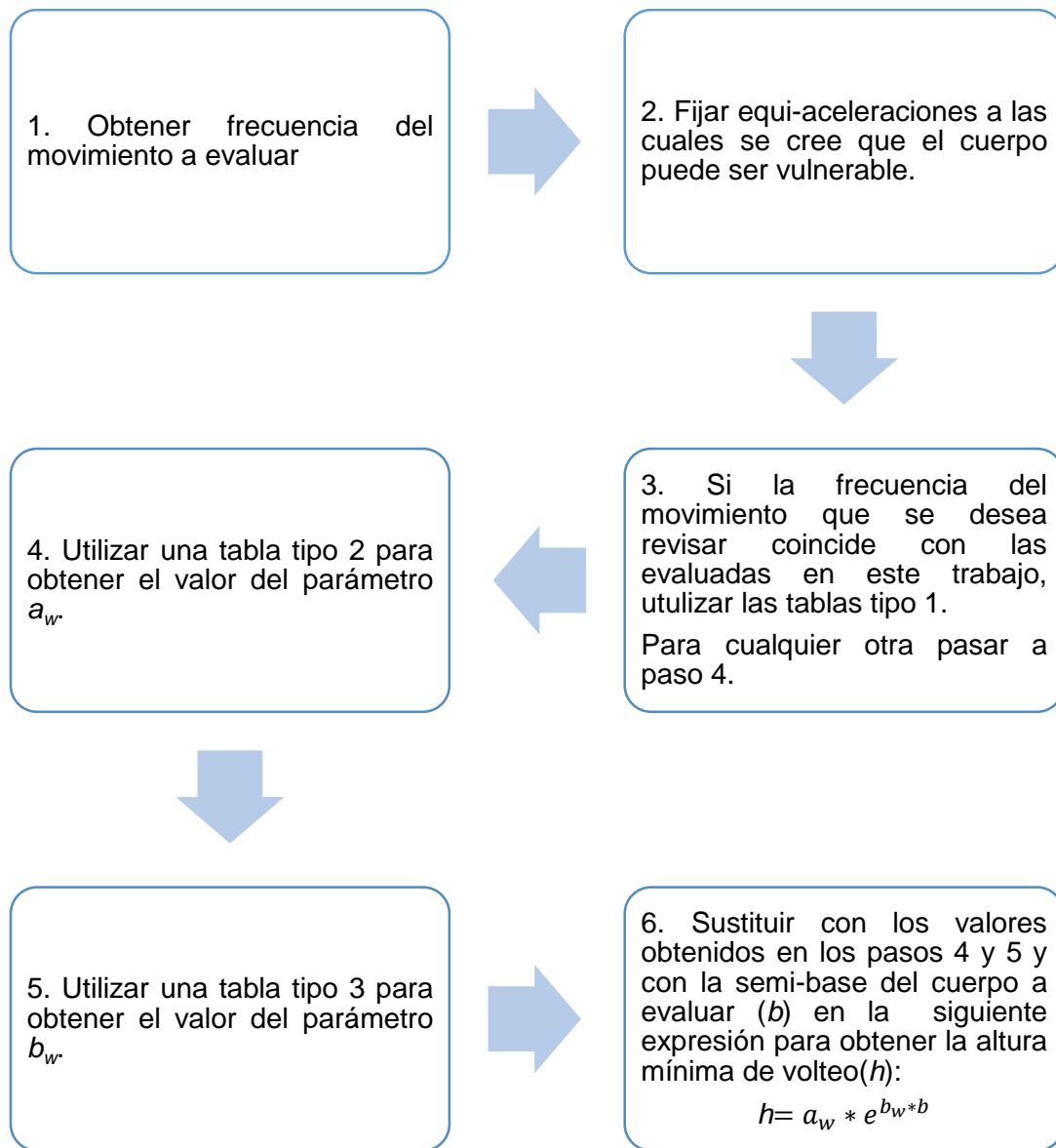


Figura 4. Proceso a seguir para obtener de forma aproximada curvas de equi-aceleración.

En la Figura 4.1.5 se puede apreciar un ejemplo de las curvas de equi-aceleración que se pueden obtener con el proceso previamente descrito. Es visible que se trata de una aproximación suficientemente confiable que resuelve el problema de conocer si un contenido fallara por volteo de una manera más rápida y sencilla, que todo ingeniero en el campo puede utilizar.

Equi-Aceleración=0.05g(ajuste)

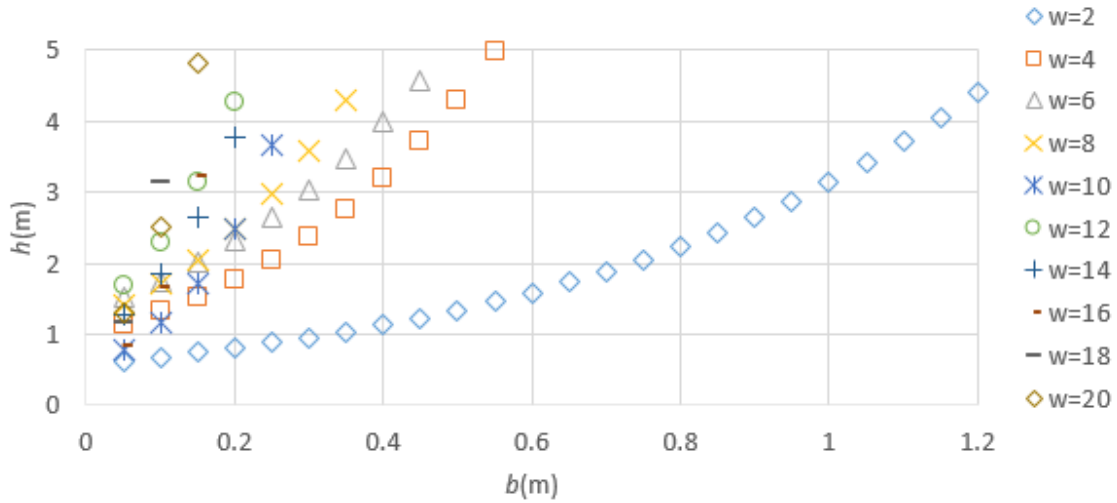


Figura 4.1.5. Curva de equi-aceleración (obtenida con los parámetros del ajuste) igual a $0.5g$ para un MSAV.

4.2. EQUI-VELOCIDAD

En el caso de las curvas de equi-velocidad, como se puede notar en el ejemplo presentado en la Figura 4.2.1, las curvas que representan a cada nivel de velocidad no varían demasiado entre ellas. Por lo que se puede deducir que la altura mínima de volteo de un cuerpo es prácticamente independiente de la velocidad que presenta al inicio del volteo, por esto se procedió a obtener la media de cada una.

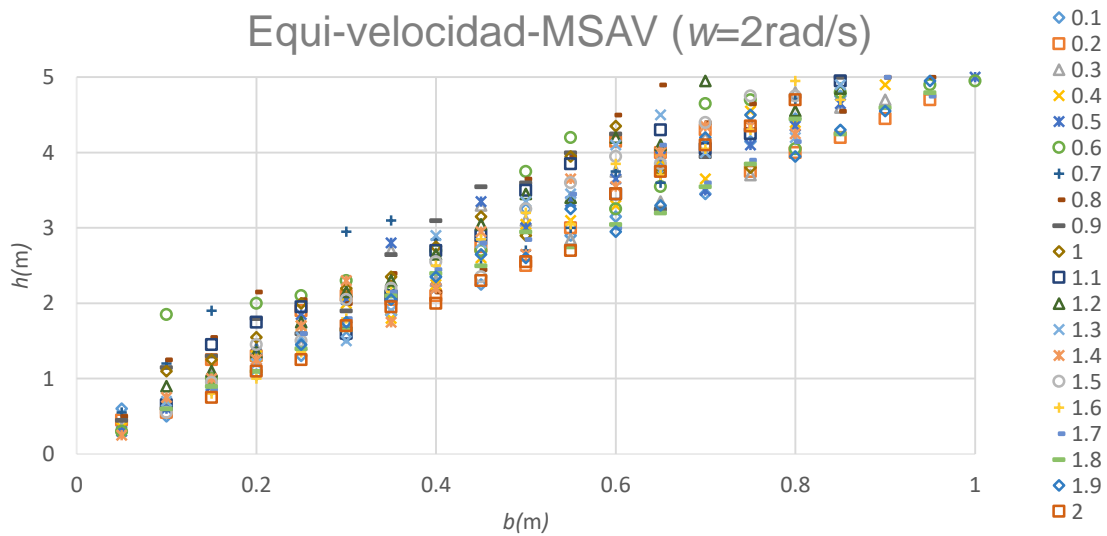


Figura 4.2.1. Curvas de equi-velocidad para MSAV con frecuencia $w=2\text{ rad/s}$, $V_g = [m/s]$.

La Figura 4.2.2 muestra las medias obtenidas de todas curvas de equi-velocidad para cada frecuencia. Como se puede apreciar, parece ser que la velocidad presentada al inicio del volteo también se puede considerar prácticamente independiente de la frecuencia de la señal. Es por esto que, para fines de comodidad y facilidad, se procedió a obtener nuevamente la media de estas curvas para finalmente obtener dos figuras que abarquen todas las alturas mínimas de volteo para las velocidades al inicio del volteo para frecuencias entre 2 rad/s hasta 20 rad/s. Si se observa cuidadosamente la Figura 4.2.2 se puede notar que hay una pequeña separación entre la frecuencia $\omega=6$ rad/s y $\omega=8$ rad/s, es por esto que de la frecuencia $\omega=2$ rad/s a $\omega=6$ rad/s se creó una figura que representa sismos de fuente lejana (Figura 4.2.3) y con las curvas correspondientes a las frecuencias $\omega=10$ rad/s a $\omega=20$ rad/s se creó otra figura para representar a los sismos de fuente cercana (Figura 4.2.4).

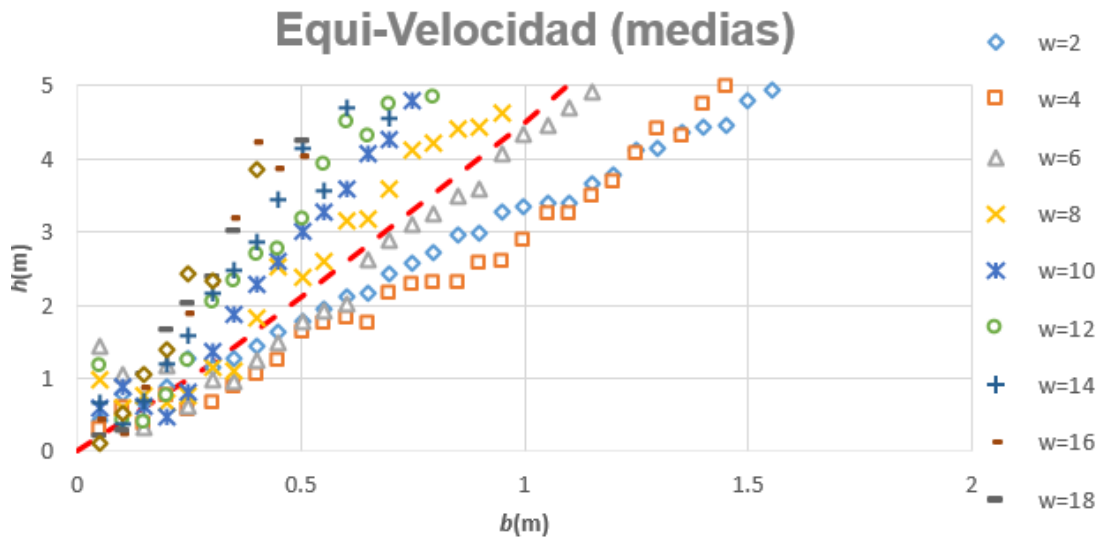


Figura 4.2.2. Medias obtenidas de todas las equi-velocidades para cada frecuencia.

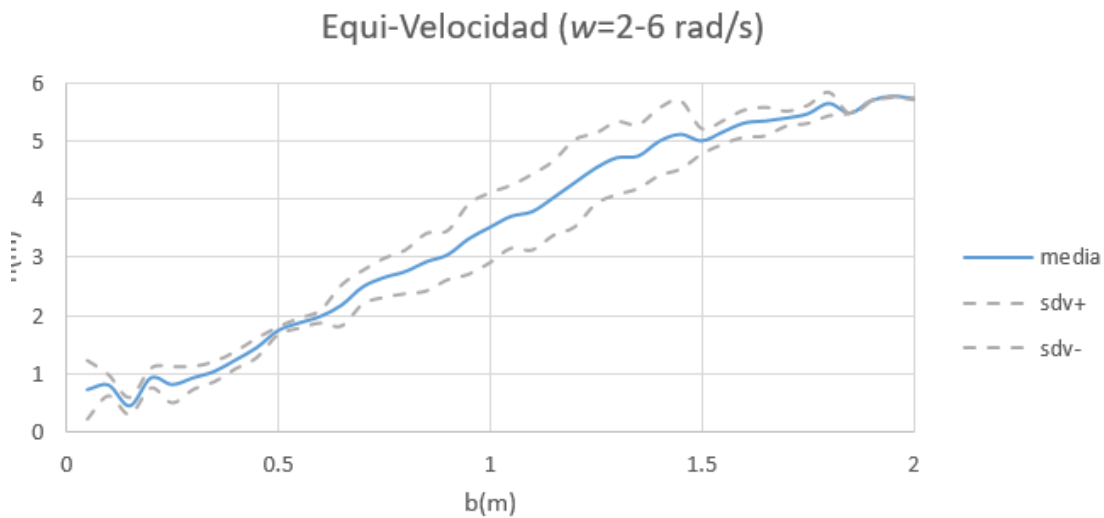


Figura 4.2.3. Curva de equi-velocidad (para frecuencias de 2rad/s hasta 6rad/s).

Equi-Velocidad ($w=8-20 \text{ rad/s}$)

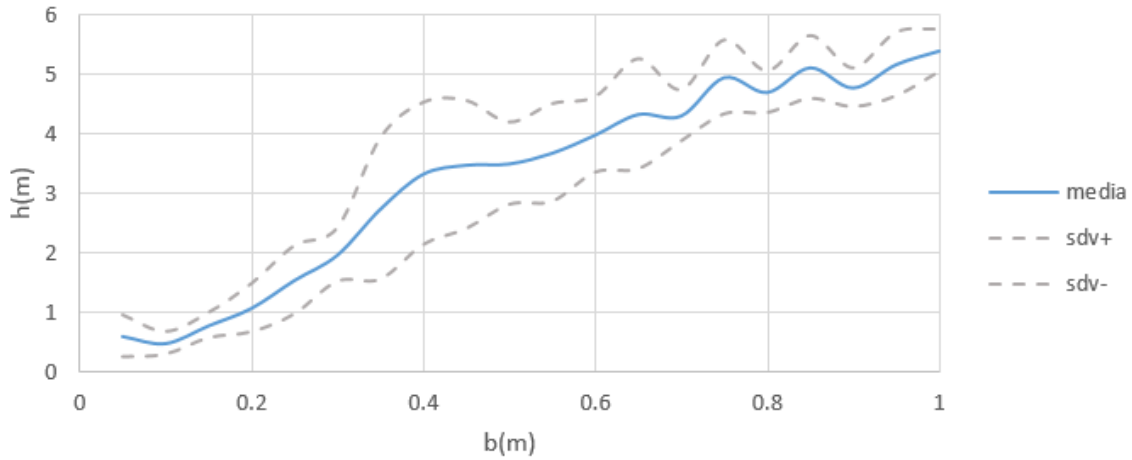


Figura 4.2.4 Curva de equi-velocidad (para frecuencias de 8 rad/s hasta 20 rad/s).

4.3. EQUI-DESPLAZAMIENTO

Como se puede notar en el ejemplo presentado en la Figura 4.3.1, las curvas que representan a cada nivel de desplazamiento tampoco varían demasiado entre ellas. Por lo que se puede deducir que la altura mínima de volteo de un cuerpo es prácticamente independiente del desplazamiento que presenta la señal al inicio del volteo, por esto, al igual que en el caso de las curvas de equi-velocidad, se procedió a obtener la media de cada una.

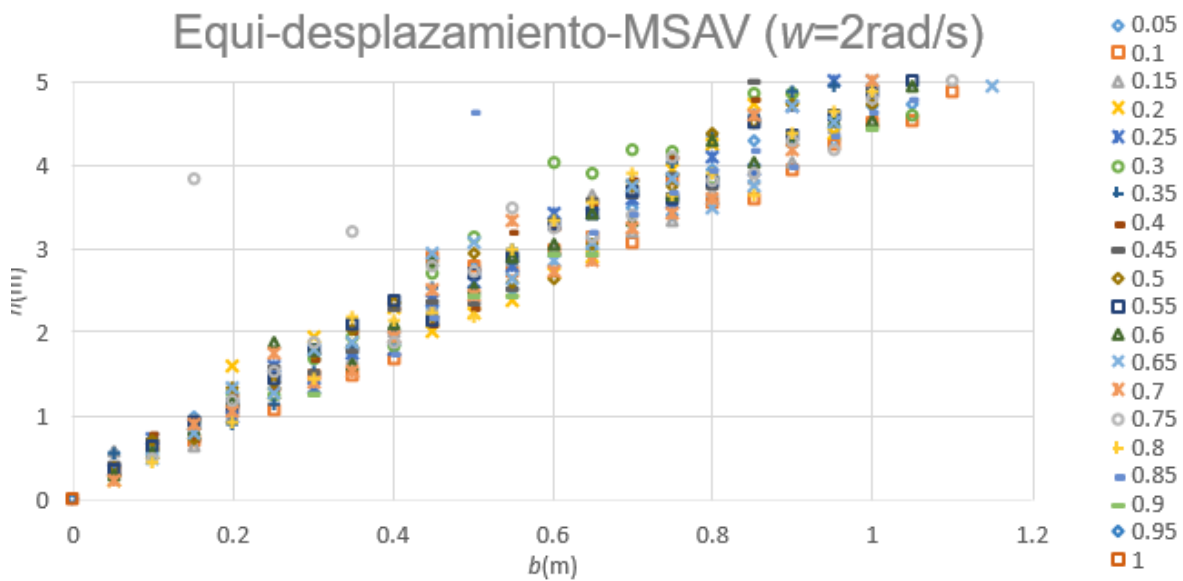


Figura 4.3.1. Curvas de equi-desplazamiento para MSAV. $Dg=[m]$.

En la Figura 4.3.2 se pueden observar las medias obtenidas de todas las curvas de equi-desplazamiento para cada frecuencia. Como se puede apreciar, parece ser que el desplazamiento presentado al inicio del volteo se puede considerar prácticamente independiente de la frecuencia de la señal. Finalmente, por fines de practicidad se procedió a obtener nuevamente la media de estas curvas para obtener, al igual que en el caso de curvas de equi-velocidad, dos figuras que abarquen todas las alturas mínimas de volteo para los desplazamientos al inicio del volteo de un MSAV con desplazamientos máximos de $D_g=0.1$ m hasta 1m para frecuencia entre 2 rad/s hasta 20 rad/s. Para las frecuencias $w=4$ y 6 rad/s se construyó la Figura 4.3.3 que representa sismos de fuente lejana y con las curvas correspondientes a las frecuencias $w=8$ rad/s a $w=20$ rad/s se creó otra figura para representar a los sismos de fuente cercana (Figura 4.3.4).

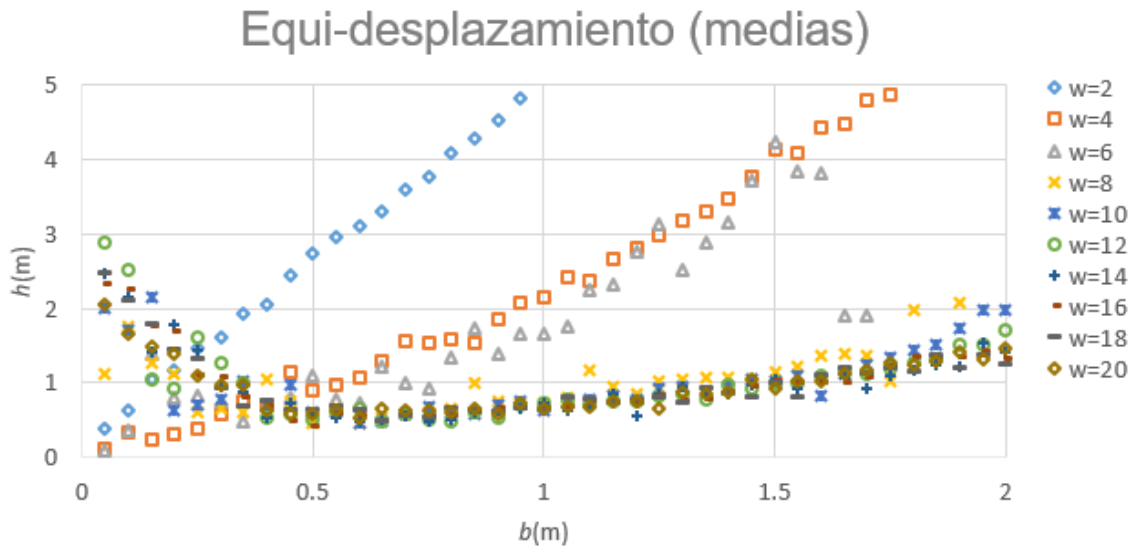


Figura 4.3.2. Curvas de equi-desplazamiento para MSAV (medias) $w=[\text{rad/s}]$.

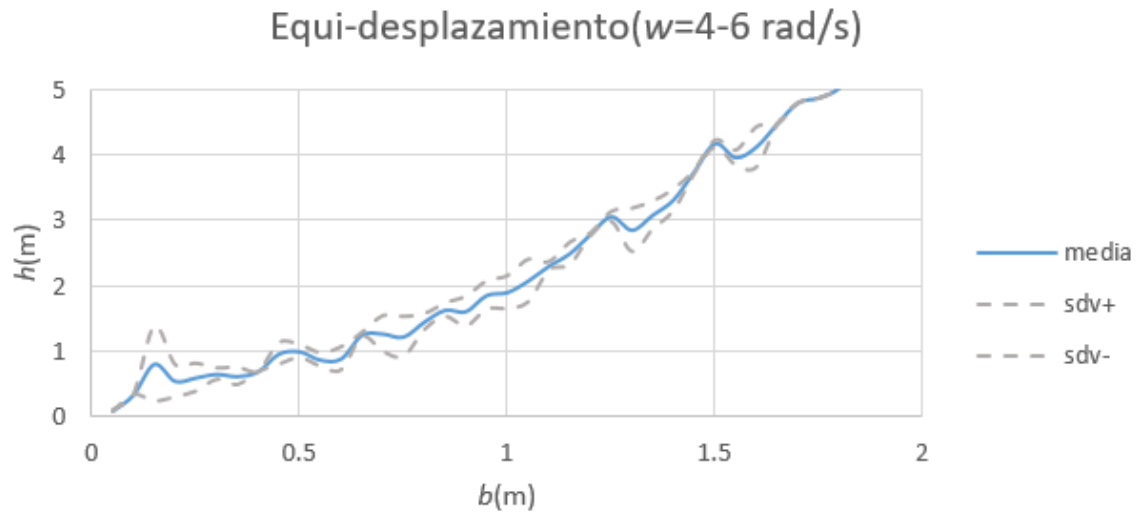


Figura 4.3.3. Curva de equi-desplazamiento para MSAV de $w=4$ rad/s hasta $w=6$ rad/s.

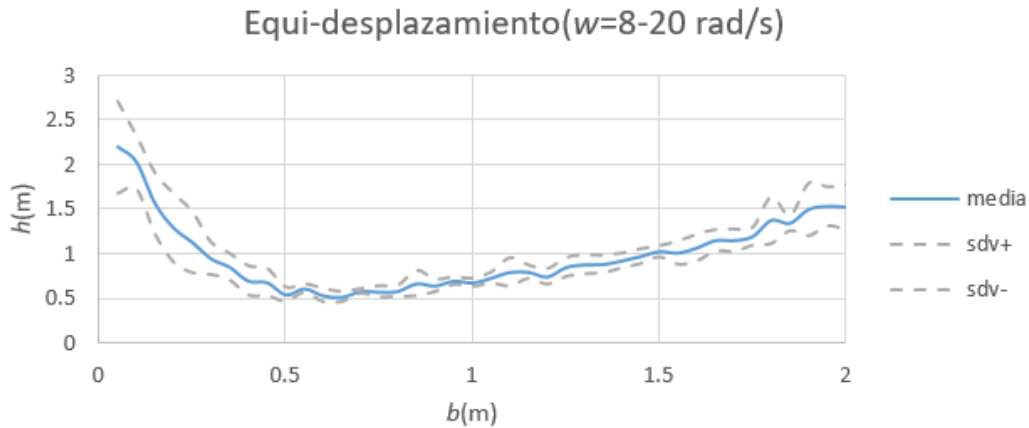


Figura 4.3.4. Curva de equi-desplazamiento para MSAV de $w=8$ rad/s hasta $w=20$ rad/s.

4.4. EQUI-INTENSIDAD DE ARIAS NORMALIZADA

La intensidad de Arias normalizada ($I_{AN} = I_A/I_{ATotal}$) es una relación muy representativa de la cantidad de energía necesaria para iniciar el volteo en un cuerpo, además se puede obtener de una manera sencilla y rápida, por lo que se tomó la decisión de obtener ayudas de diseño de este tipo.

El usuario solamente necesita conocer la semi-base del cuerpo en estudio y la relación de intensidad de Arias que desea revisarse. Por ejemplo, se podría iniciar revisando una relación de energía igual a 0.05 unidades, si el contenido falla por volteo, ya no hay necesidad de revisar los siguientes niveles de intensidad. El procedimiento a seguir es muy parecido al que se sigue para la obtención de curvas de equi-aceleración. Como primer paso se procedió a realizar un ajuste a las curvas mostradas en la Figura 4.4.1, se puede ver que para algunas relaciones de intensidad de Arias podría efectuarse un ajuste lineal con gran precisión, pero debido a que en algunos puntos la relación entre semi-altura mínima de volteo y semi-base puede volverse negativa se optó por realizar una regresión de tipo exponencial.

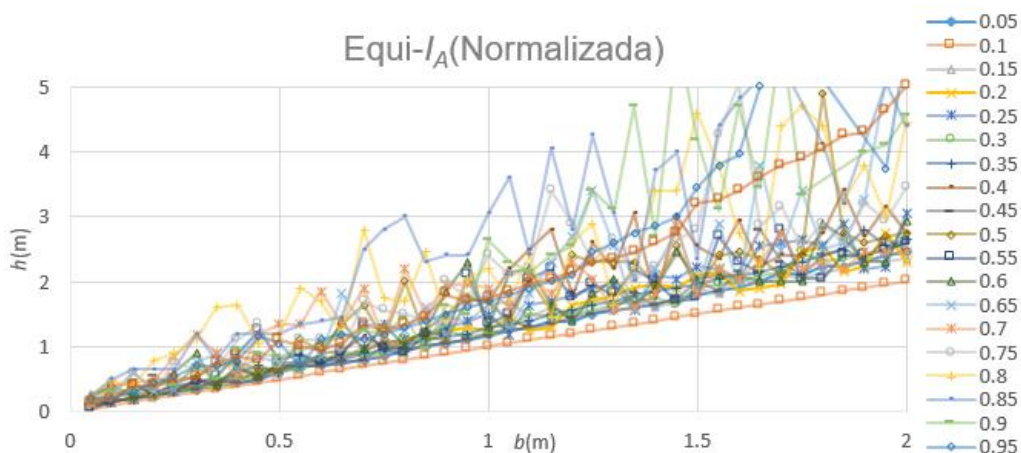


Figura 4.4.1. Curvas de equi-intensidad de Arias normalizada.

En la Tabla 4.4.1 se muestran los valores obtenidos del primer ajuste, están organizados de tal manera que para cada relación de intensidad de Arias normalizada previamente definida, se tenga un par de valores de los parámetros. A este tipo de tablas se les llamará de tipo 4.

Tabla 4.4.1. Valores de los parámetros obtenidos del ajuste exponencial (tabla tipo 4).

Ajuste exponencial: $y = a_{IA} * \exp(q * b_{IA})$		
I_A(normalizada)	a_{IA}	b_{IA}
0.05	1.198	0.9377
0.1	1	1
0.15	1.2972	0.9147
0.2	1.3063	0.944
0.25	1.3878	0.9899
0.3	1.269	0.9498
0.35	1.3223	0.9131
0.4	1.5999	1.0344
0.45	1.2829	0.8477
0.5	1.6389	0.7914
0.55	1.4746	0.9437
0.6	1.5062	0.7368
0.65	1.7522	0.8658
0.7	1.7253	0.6971
0.75	1.9611	0.8708
0.8	2.2693	0.7094
0.85	2.6542	0.8196
0.9	2.1429	1.0187
0.95	2.0383	0.972
1	1.9745	0.9718

En las siguientes Figuras se pueden apreciar de una manera visual los ajustes realizados a los dos tipos de parámetros obtenidos de la regresión exponencial. Para el parámetro a_{IA} se efectuó un ajuste de tipo lineal y para el segundo parámetro b_{IA} se llevó a cabo un ajuste de tipo polinomial de tercer grado; ambos ajustes muestran ser suficientemente precisos como para poder utilizados de manera conservadora.

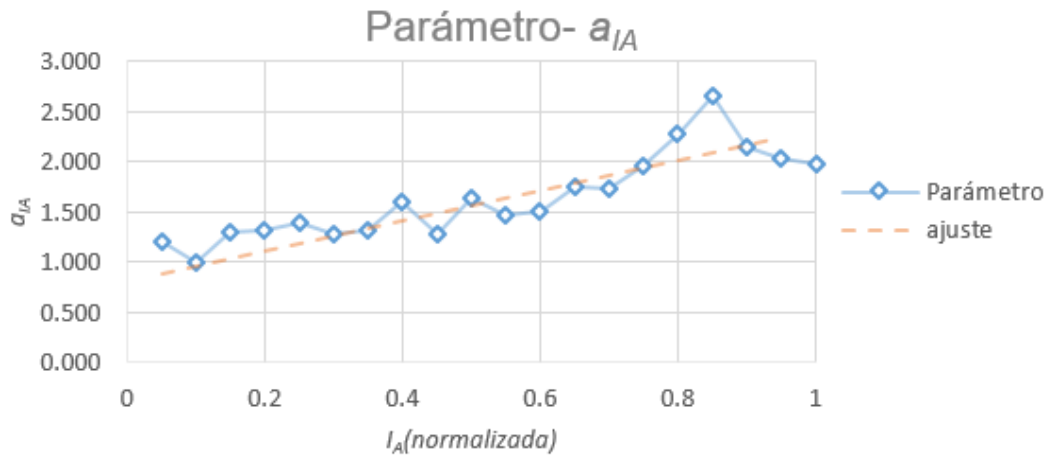


Figura 4.4.2. Ajuste de tipo lineal realizado al parámetro a_{IA} .

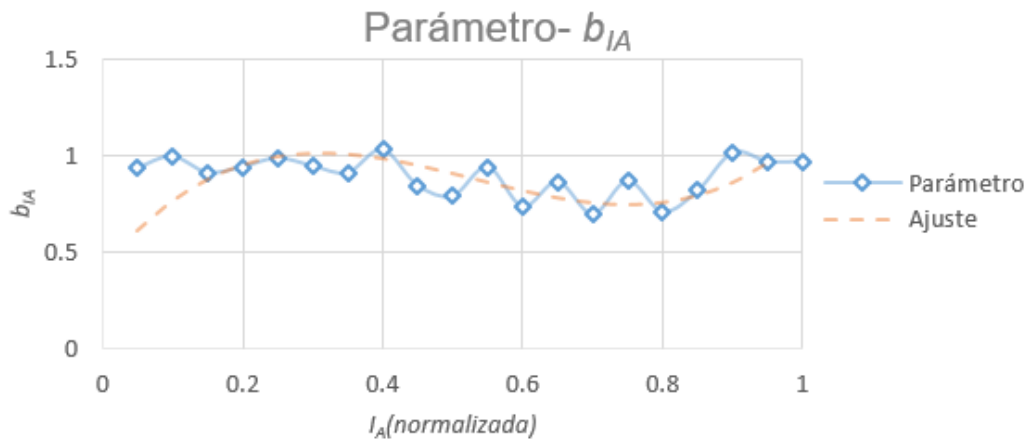


Figura 4.4.3. Ajuste de tipo polinomial realizado al parámetro b_{IA} .

Por último, las Tablas 4.4.2 y 4.4.3 corresponden a los valores de los parámetros que se deben utilizar para obtener el valor de a_{IA} y b_{IA} (recordando que estos fueron calculados mediante los ajustes realizados a las Figuras 4.4.2 y 4.4.3) para finalmente calcular las curvas de equi-energía de Arias normalizada correspondientes (Figura 4.4.4). Para fines de comprensión del proceso las llamaremos Tablas tipo 5 y tipo 6 respectivamente.

Tabla 4.4.2 Valores de los parámetros obtenidos del ajuste exponencia para calcular a_{IA} (tabla tipo 5).

Ajuste lineal: $y = c_{IA} + d_{IA} x$	
c_{IA}	8.12E-01
d_{IA}	7.50E-02

Tabla 4.4.3. Valores de los parámetros obtenidos del ajuste polinomial de tercer grado para calcular bIA (tabla tipo 6).

Ajuste polinomial de 3 ^{er} grado: $y = e_{IA} + f_{IA}x + g_{IA}x^2 + h_{IA}x^3$	
e_{IA}	4.05E-01
f_{IA}	2.27E-01
g_{IA}	-2.57E-02
h_{IA}	8.08E-04

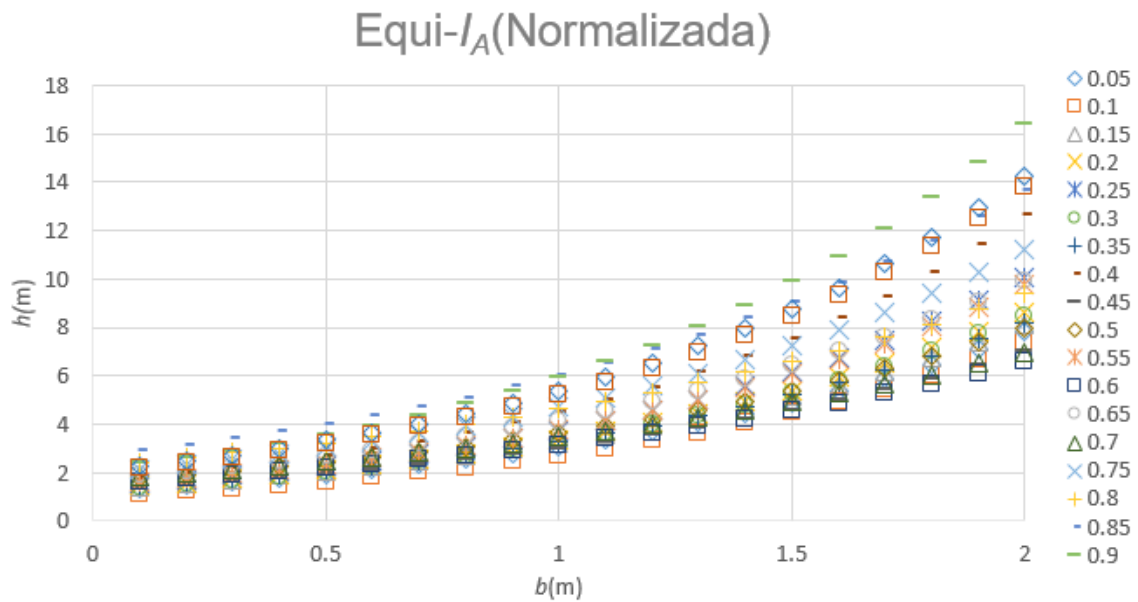


Figura 4.4.4. Curvas de equi-intensidad de Arias normalizada calculadas mediante los datos obtenidos del ajuste realizado.

En la siguiente Figura se muestra un pequeño diagrama de los pasos que deben seguirse para poder hacer uso de esta metodología y poder calcular curvas para cualquier relación de equi-intensidad de Arias normalizada.

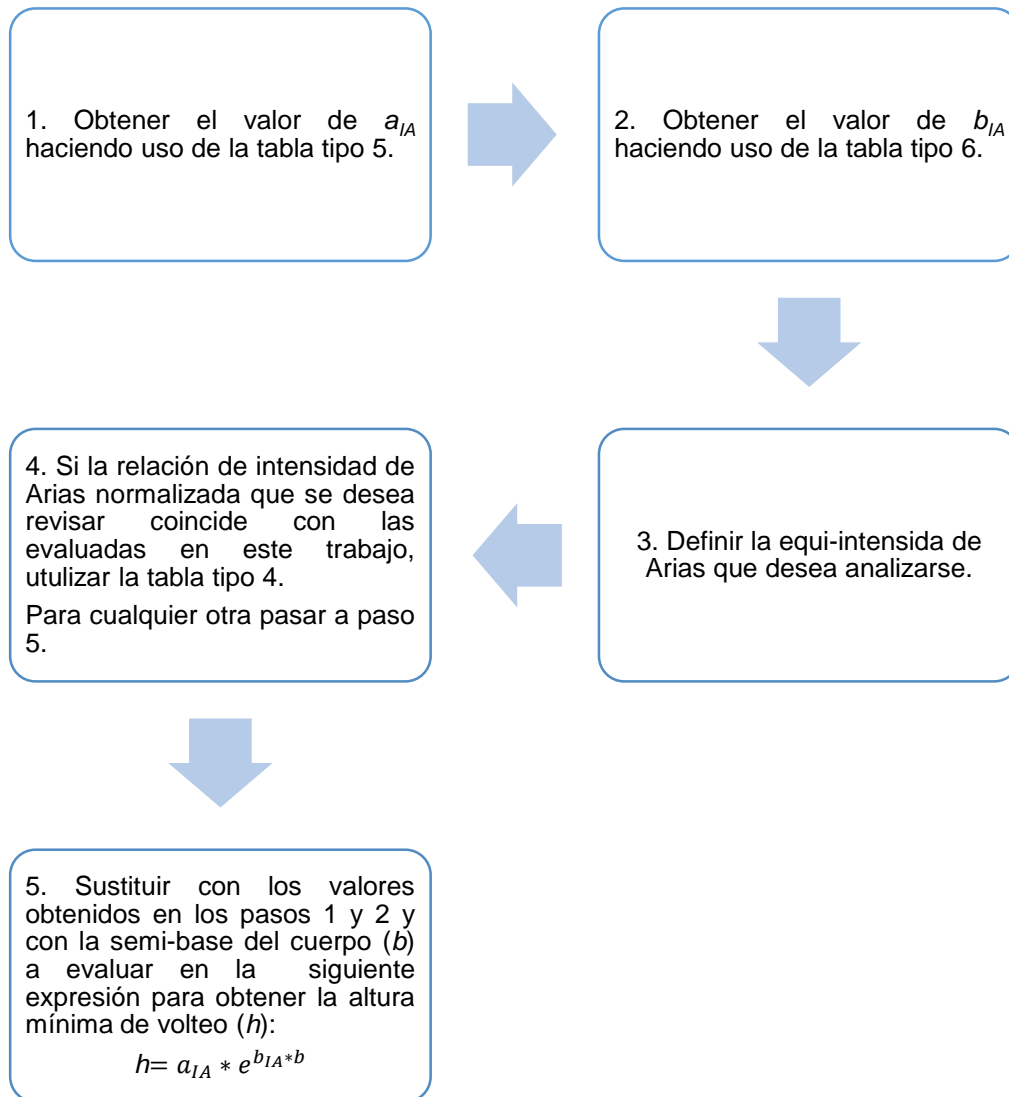


Figura 4.4.5. Proceso a seguir para calcular curvas para cualquier equi-intensidad de Arias normalizada.

5. COMPARACIÓN CON RESULTADOS EXPERIMENTALES

Debido a que no se contó con tiempo suficiente para realizar nuevas pruebas experimentales en una mesa vibradora, se utilizarán los resultados obtenidos por Arredondo (2006). A continuación, se presentarán las condiciones y los prototipos utilizados para estas pruebas.

5.1. PRUEBAS EXPERIMENTALES EN MESA VIBRADORA

Las pruebas se llevaron a cabo en la mesa vibradora de la UNAM que cuenta con las siguientes características:

- Tres grados de libertad controlados.
- Dimensiones: 4x4m.
- Peso máximo: 20t.
- Desplazamiento horizontal máximo: +/- 15cm.
- Desplazamiento vertical máximo: +/- 7.5cm.
- Aceleración horizontal máxima: 1g con modelo de 20t sobre la mesa.
- Aceleración vertical máxima: 1g con modelo de 20t sobre la mesa.
- Intervalo de frecuencias: 0.1 a 50Hz.
- Cuarto de máquinas con un par de unidades con bombas de pistón y flujo variable.
- Grúa viajera de 10t de capacidad.



Figura 5.1. Mesa vibradora UNAM

En cuanto a los modelos utilizados, se optó por construir bloques rectangulares prismáticos de diferentes relaciones de esbeltez, estructurados y rigidizados con perfiles de tipo PTR; sus características geométricas se presentan en la Tabla 5.1. Además, con el fin de poder aportar distintas excentricidades a las pruebas, los prototipos contaban con dispositivos internos, ubicados a diferentes alturas, para agregar pesos y modificar su centro de masa.



Figura 5.2. Ejemplo de la estructura de los prototipos utilizados.

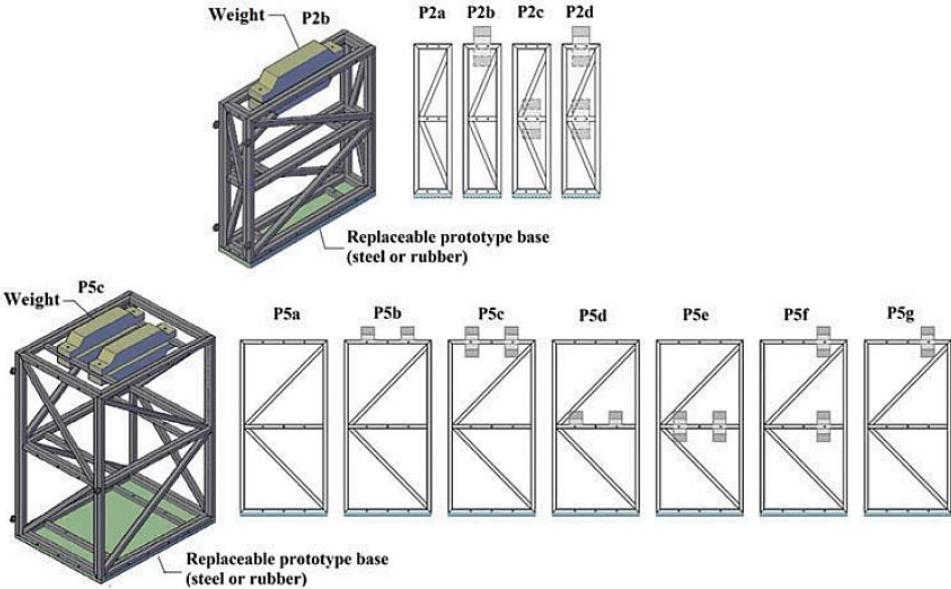


Figura 5.3. Configuración de los prototipos con excentricidades (Arredondo, Jaimes y Reinoso 2017).

Tabla 5. 1. Características geométricas de los prototipos utilizados.

Prototipo	SEMI-DIMENSIONES		
	b(m)	h(m)	Profundidad(m)
P1	0.1	0.2	0.8
P2	0.1	0.4	0.8
P3	0.1	0.6	0.8
P4	0.2	0.4	0.8
P5	0.3	0.6	0.8

La estimación de las rotaciones y deslizamientos presentados en los prototipos se llevó a cabo empleando un sistema de video que al ser procesado permitió, mediante software especializado, estimar los valores de desplazamientos horizontales y verticales respecto a un sistema de referencia (rectángulos de color rojo en cada esquina del bloque). Además, con el fin de asegurar que los resultados obtenidos eran confiables, como sistema paralelo de medición se utilizaron inclinómetros (Crossbow CXTA02, +/- 75°) en dos direcciones perpendiculares.

Las especificaciones del sistema de video y software utilizados por Arredondo (2006) son las siguientes:

- Programa: GTRACK – TEAM VIEW 3.0.
- Ambiente: LINUX OUBUNTU 2.612.16.
- Zoom óptico: 20X
- Zoom digital: 800X
- Resolución: 720 X 480 píxeles.
- Velocidad de Grabación: 29.97 F/S.
- Escalas de tiempo: 0.033 segundos = 33 ms.
- Escalas dimensionales: en X, 0.0028 m/píxel y en Y, 0.0031 m/píxel.



Figura 5.4. Ejemplo del sistema utilizado para estimar los giros y desplazamientos en cada prueba.

En cuanto a las señales utilizadas en las pruebas, se eligieron 6 sismos (Tabla 5.2) que cumplen con las limitaciones de la mesa vibradora de la UNAM para reproducir intensidades pico y desplazamientos. También se realizaron pruebas con señales armónicas, específicamente con pulsos de Ricker y movimientos senoidales de amplitud variable (MSAV), cuyas características se pueden apreciar en la Tabla 5.3.

Tabla 5.2. Características de los sismos utilizados para las pruebas experimentales Arredondo (2006).

Sismo	Fecha	Estación	A (m/s ²)	V (m/s)	D (m)
Loma Prieta	18/10/1989	CAP090	4.35	0.29	0.06
Kocaeli	17/08/1999	DZC270	3.51	0.46	0.18
Big Bear	28/06/1992	HOS180	0.99	0.12	0.18
Landers	28/09/1992	JOS090	2.79	0.43	0.14
Kobe	16/01/1995	KJM000	8.06	0.81	0.18
Landers	28/06/1992	NPS090	0.15	0.15	0.06

Tabla 5.3. Características de las funciones armónicas utilizadas por Arredondo (2006).

Tipo de Señal		A (m/s ²)	ω (rad/s)
Pulso de Ricker	MSAV		
A1	A10	2	10
A2	A11	4	10
A3	A12	4	15
A4	A13	6	10
A5	A14	6	15
A6	A15	6	20
A7	A16	8	15
A8	A17	8	20
A9	A18	10	20

5.2. COMPARACIÓN CON MOVIMIENTOS ARMÓNICOS

Como se mencionó anteriormente, no fue posible obtener las curvas de equi-aceleración para pulsos de Ricker, por lo que solo se hizo la comparación de resultados obtenidos en esta investigación con los obtenidos por Arredondo (2006) para movimientos senoidales de amplitud variable (MSAV).

Para obtener la equi-aceleración en la que inició el volteo de cada cuerpo, se revisaron cuidadosamente los videos de las pruebas realizadas por Arredondo (2006) y se obtuvo el tiempo en el que inició el volteo para finalmente obtener la aceleración de volteo con el acelerograma de la señal utilizada.

En la Figura 5.2.1 se puede observar que para la señal A10, que se trata de un MSAV de amplitud máxima $A_{max}=2 \text{ m/s}^2$ y frecuencia $\omega=10 \text{ rad/s}$, se utilizó el prototipo P3 con semi-dimensiones de $0.1 \times 0.6 \text{ m}$. Claramente se puede distinguir que el volteo de un cuerpo de las dimensiones del prototipo P3 está indicado en ambas curvas, la obtenida de forma analítica con el código creado y la obtenida de forma aproximada por medio de distintos ajustes realizados a la curva analítica.

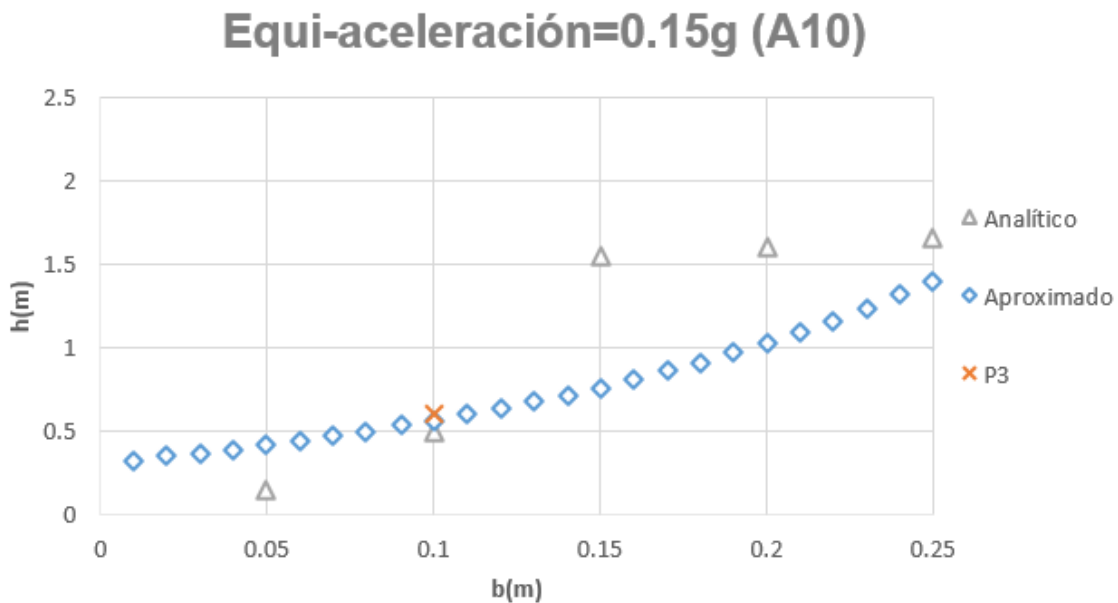


Figura 5.2.1. Comparación de resultados para la señal A10 (MSAV) y una equi-aceleración de $0.15g$.

Se puede observar en la Figura 5.2.2 que ambas curvas de equi-aceleración igual a $0.4g$, es decir la curva obtenida de forma analítica y la curva aproximada a partir de ajustes para un MSAV, indican el volteo de un cuerpo de dimensiones iguales a las del prototipo P3.

Equi-aceleración=0.4g (A11)

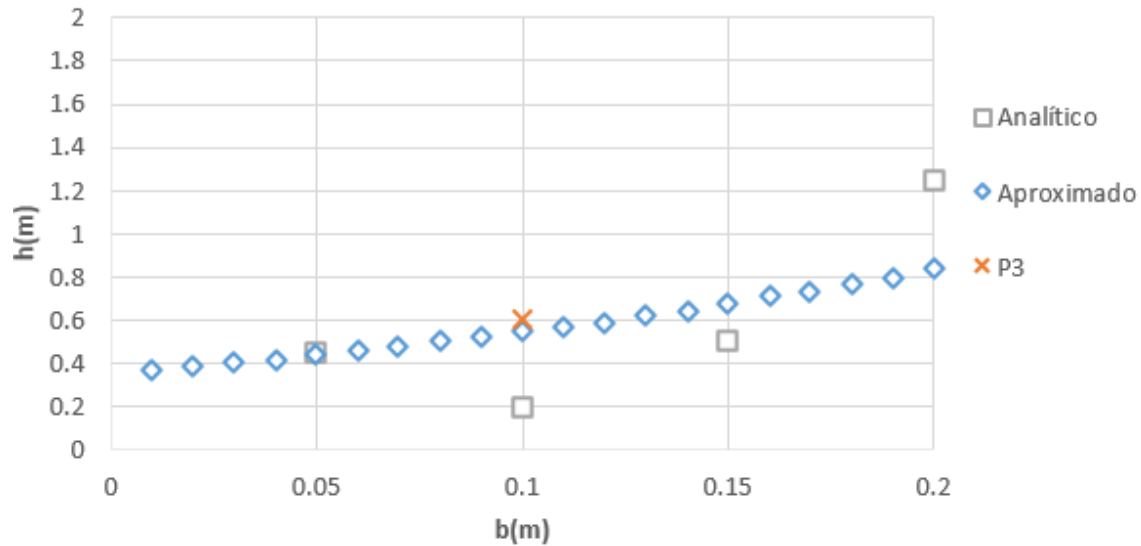


Figura 5.2.2. Comparación de resultados para la señal A11 (MSAV) y una equi-aceleración de 0.4g.

En la Figura 5.2.3 se puede apreciar que ambas curvas (la obtenida analíticamente y la aproximada a partir de ajustes) para un MSAV con indican que un cuerpo de dimensiones iguales a las del prototipo P3 fallara por volteo.

Equi-aceleración=0.25g (A13)

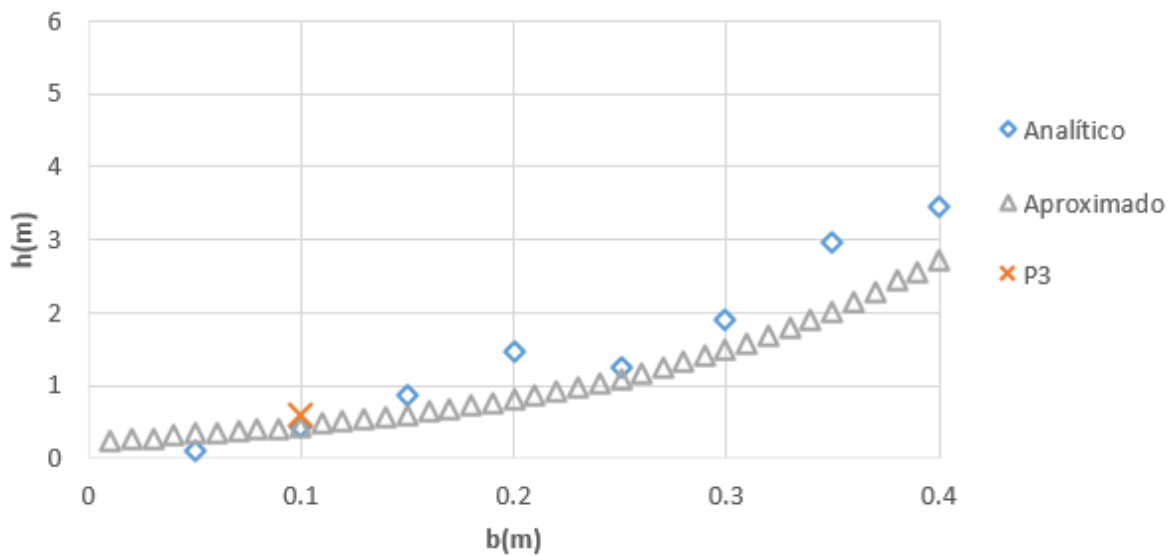


Figura 5.2.3. Comparación de resultados para la señal A13 (MSAV) y una equi-aceleración de 0.25g.

Para el caso de la señal tipo A14 que corresponde a un MSAV con $A_{max}=6$ m/s y $w=15$ rad/s, se puede observar en la Figura 5.2.4 que la curva obtenida por medio ajustes (ya que no se tiene el caso analítico para MSAV con $w=15$ rad/s) no indica que un cuerpo con dimensiones iguales a las del prototipo P3 falla por volteo, probablemente por los errores acumulados al realizar los ajustes a las curvas analíticas.

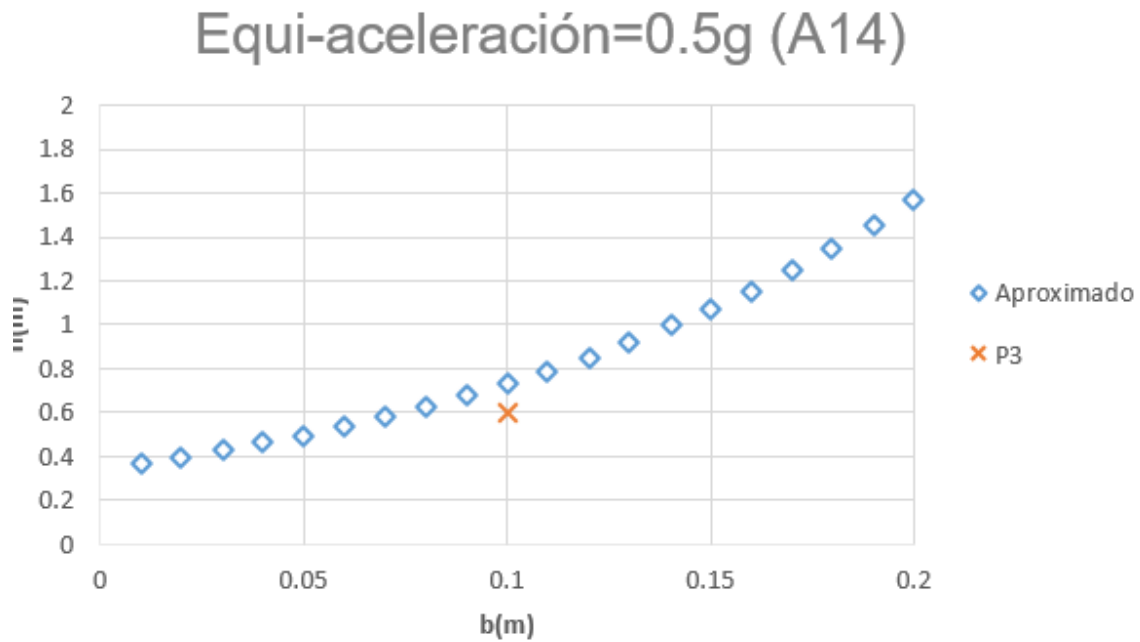


Figura 5.2.4. Comparación de resultados para la señal A14 (MSAV) y una equi-aceleración de 0.5g.

6. CONCLUSIONES

En esta investigación se analizó el balanceo y volteo, bajo diferentes tipos de señales armónicas (seno, pulso de Ricker y MSAV) de contenidos modelados como bloques rígidos (sin ningún tipo de anclaje) con condiciones regulares e irregulares de distribución de masa, con la finalidad de obtener curvas de equi-intensidad y a partir de estas identificar patrones o tendencias.

Se comprobó que cambios en la frecuencia o amplitud máxima del movimiento al que se somete el cuerpo repercuten en la aceleración, velocidad o desplazamiento que presenta antes del volteo, por ejemplo, los cuerpos que fallan por volteo con una señal de frecuencia $w=2$ rad/s son bastante más robustos que los que fallan con una señal de frecuencia $w=20$ rad/s.

Además, se observó que los parámetros que mostraron mejores tendencias para poder definir dimensiones de falla por volteo son la aceleración y la intensidad de Arias presentadas antes del inicio del volteo, mientras que las curvas de equi-velocidad y equi-desplazamiento se determinaron como prácticamente constantes entre ellas.

Uno de los principales objetivos de este trabajo era proporcionar al ingeniero de la práctica una herramienta que fuera capaz de calcular las dimensiones de los cuerpos que podrían fallar por volteo bajo ciertas excitaciones e intensidades, es por esto que se propusieron expresiones capaces de recrear con cierta exactitud las distintas curvas de equi-intensidad obtenidas analíticamente. Lamentablemente estas no son tan sencillas y directas como se proponía inicialmente dado que, al ser un problema no lineal, son numerosos los factores que intervienen y pequeñas alteraciones pueden alcanzar a provocar cambios significativos en los resultados finales.

Finalmente, a partir de este trabajo queda abierta la posibilidad de realizar análisis más a fondo del balanceo y volteo de cuerpos desde la perspectiva de los parámetros que resultaron con tendencias más productivas para proporcionar una herramienta más aprovechable para el ingeniero en la práctica. Por ejemplo se podrían realizar curvas de equi-aceleración normalizadas al PGA del movimiento con la finalidad de obtener un parámetro más universal y fácil de reproducir; otra posibilidad podría ser que como en este trabajo ya se utilizó la intensidad de Arias como medida de energía dado que se puede obtener de una manera rápida y sencilla, se podría continuar con este enfoque del análisis de la energía de la excitación al momento del inicio del volteo y proponer otras medidas de intensidad de estas ya que se demostró que se podrían obtener resultados favorables para el análisis.

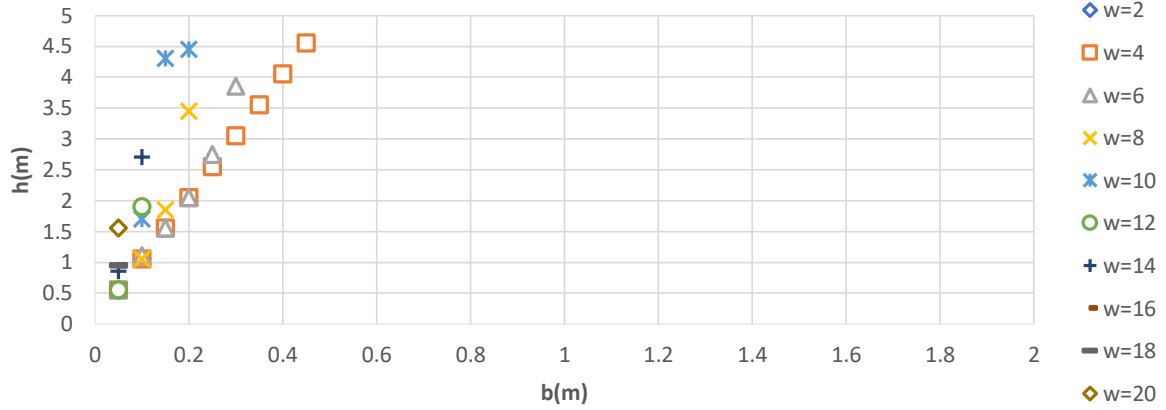
BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Arredondo C., Comportamiento Sísmico de Contenidos de Edificios, *tesis presentada a la Universidad Nacional Autónoma de México*, 2006.
- 2.- Cesar Arredondo, Miguel A. Jaimes & Eduardo Reinoso (2017): A Simplified Model to Evaluate the Dynamic Rocking Behavior of Irregular Free-Standing Rigid Bodies Calibrated with Experimental Shaking-Table Tests, *Journal of Earthquake Engineering*, DOI: 10.1080/13632469.2017.1309601
3. - Miguel A. Jaimes , Cesar Arredondo & Luciano Fernández-Sola (2017): Rocking of Non-symmetric Rigid Blocks in Buildings Considering Effects Associated with Dynamic Soil-Structure Interaction, *Journal of Earthquake Engineering*, DOI: 10.1080/13632469.2017.1286620
- 4.- Boroschek R., Romo D., Overturning Criteria for Non-Anchored Non-Symmetric Rigid Bodies, *Universidad de Chile*, enero 1994.
5. - Housner, G. W. [1963] "The behaviour of inverted pendulum structure during earthquakes," *Bulletin Seismological Society America*, 53(2), 403–417.
6. - Kamil Aydin, C. C. David Tung, Rocking Response of Unanchored Body to Base Excitation, *North Carolina State University, USA*, agosto 2001.
7. - Kelly A. Salyards¹, Robert J. Firman III, Review of Generic and Manufacturer Design Criteria for Vibration-Sensitive Equipment, *Society for Experimental Mechanics Inc.*, Orlando, Florida USA, febrero 2009
- 8.- Kounadis Anthony, On the Overturning Instability of a Rectangular Rigid Block Under Ground Excitation, *Foundation for biomedical research of the Academy of Athens*, enero 2009.
9. - Nicos Makris, Yiannis Roussos, Rocking Response and Overturning of Equipment under Horizontal Pulse-Type Motions, *University of California, Berkeley*, Report PEER-1998/05.
10. -Rathje, E. M., Abrahamson, N. A., & Bray, J. D. (1998). Simplified frequency content estimates of earthquake ground motions. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 124(2), 150-158.
- 11.- Eduardo Reinoso , Miguel A. Jaimes & Luis Esteva (2010) Seismic Vulnerability of an Inventory of Overturning Objects, *Journal of Earthquake Engineering*, 14:7, 1008-1021, DOI: 10.1080/13632460903527971.
- 12.- Santa Cruz, S, Ordaz M y Guerrero del Ángel R. Estimación de pérdidas en contenidos dentro de naves industriales debido a sismos, *XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, León, Gto., México, noviembre, 2000.

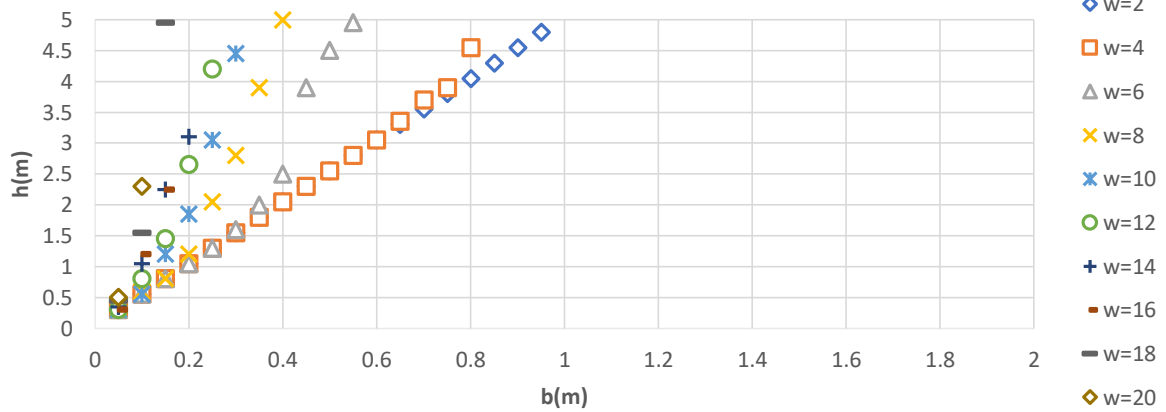
13. Scalia A, Sumatyan MA(1996) Slide rotation of rigid bodies subjected to a horizontal ground motion. *Earthq Eng Struct Dyn* 25:1139-1149.
14. Shenton, H.W. III (1996), "Criteria for initiation of slide, rock, and slide-rock rigid-body modes", *J. Eng. Mech., ASCE*, 122(7), 690–693.
15. C. K. Yim, A. K. Chopra and J. Penzien, "Rocking response of rigid blocks to earthquakes," *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, vol. 8, pp. 565-587, 1980.
16. - Zhang J., Makris N., Rocking Response of Free-Standing Blocks Under Cycloidal Pulses, *Journal of Engineering Mechanics*, 127(5), enero 2001.

ANEXO 1

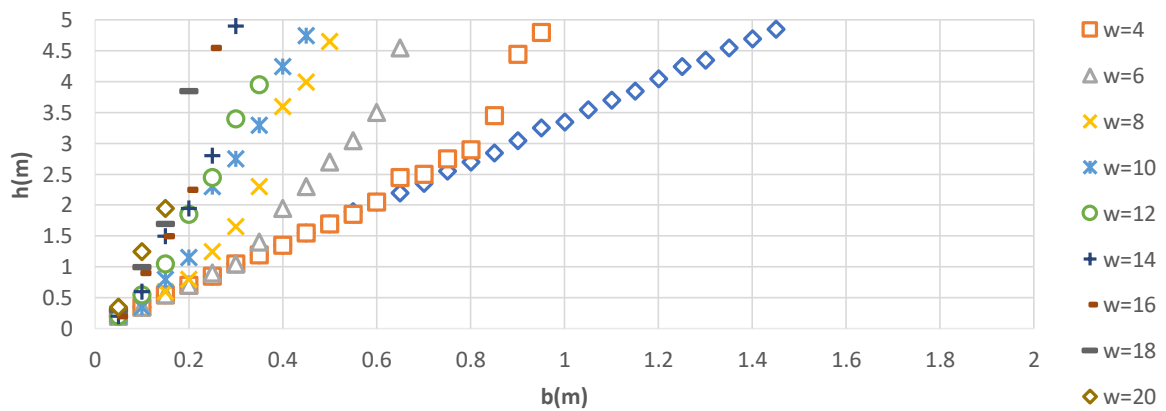
Curva de Volteo (Seno-PGA= 0.1g)



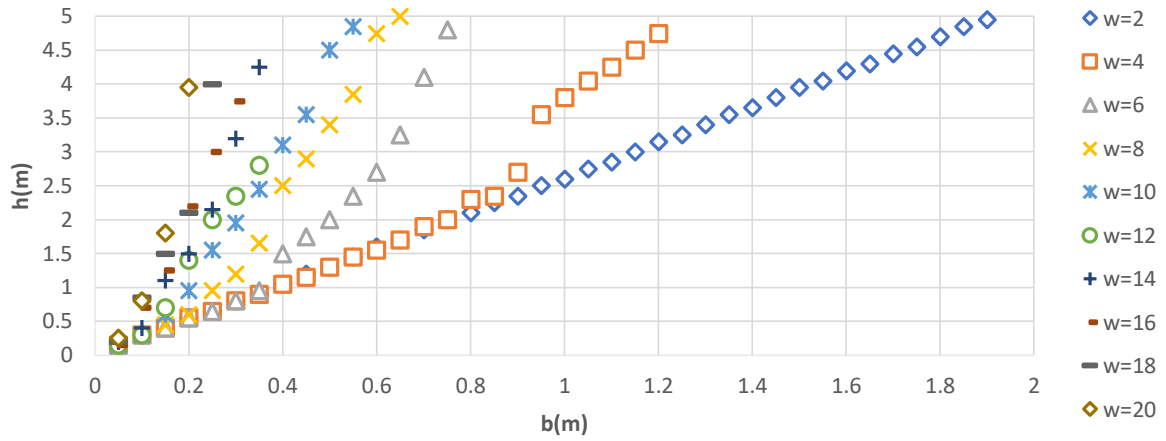
Curva de Volteo (Seno-PGA=0.2g)



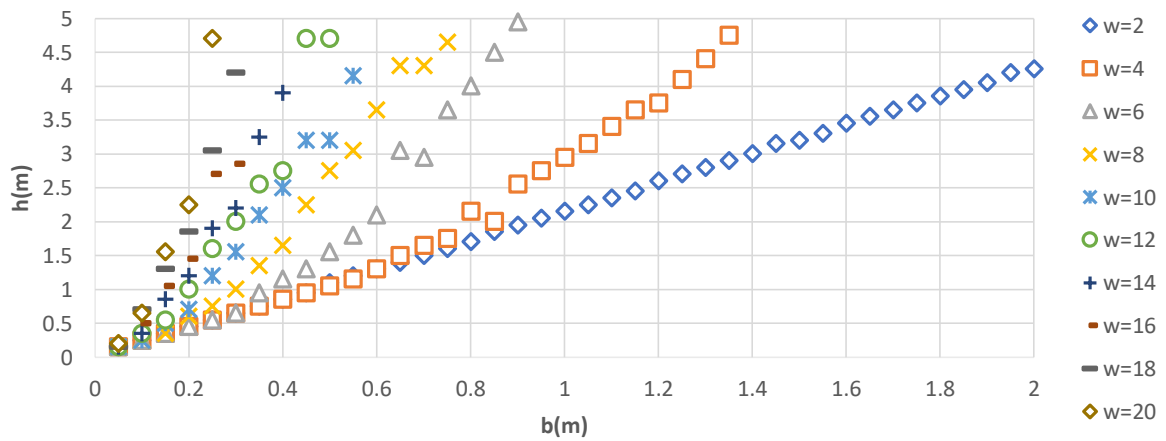
Curva de Volteo (Seno-PGA=0.3g)



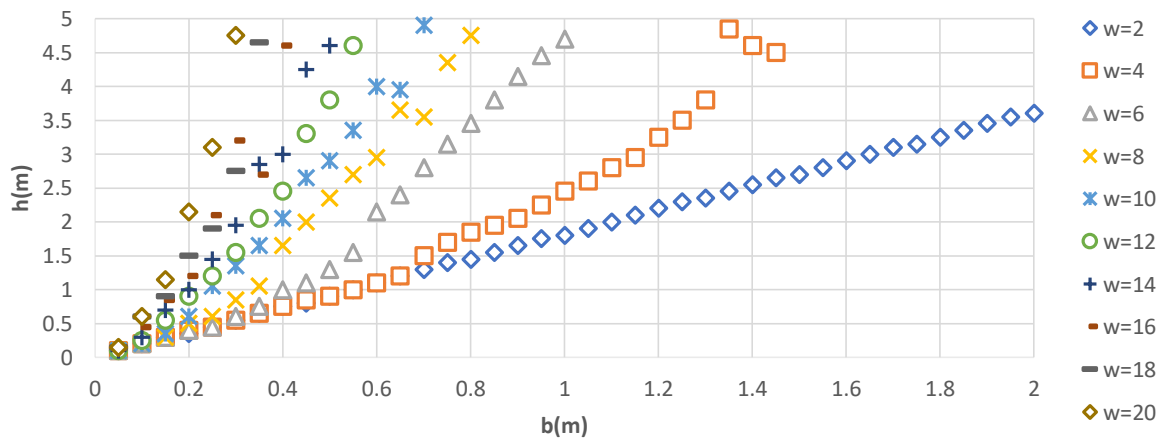
Curva de Volteo (Seno-PGA=0.4g)



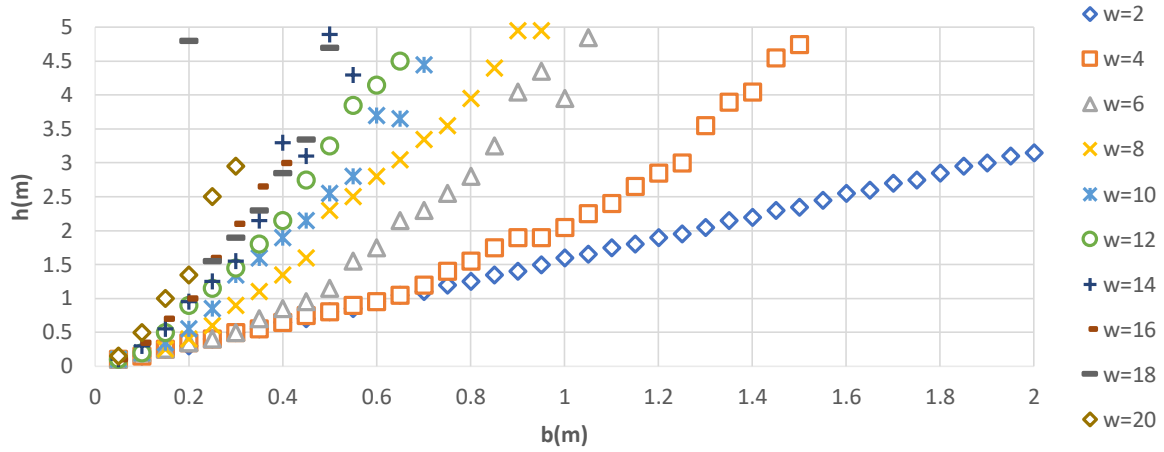
Curva de Volteo (Seno-PGA=0.5g)



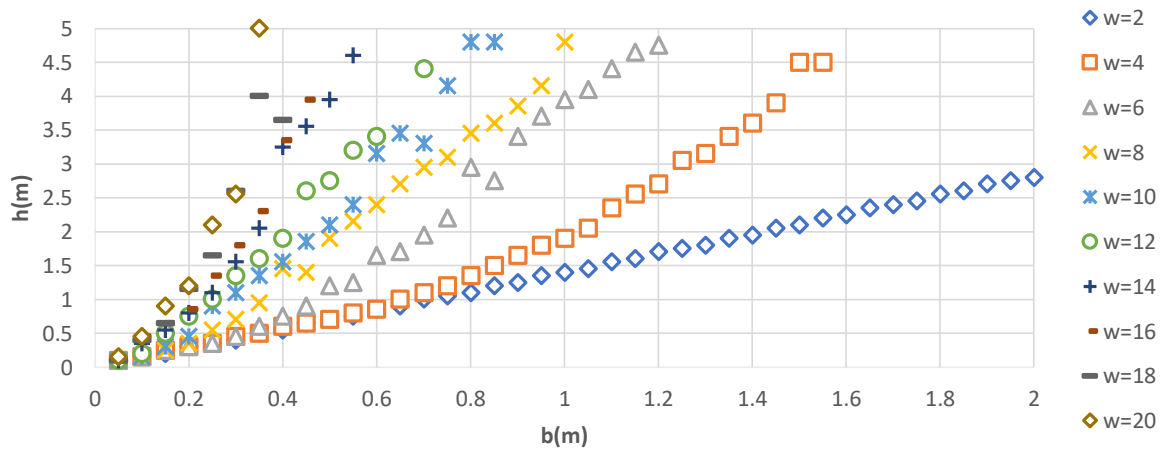
Curva de Volteo (Seno-PGA=0.6g)



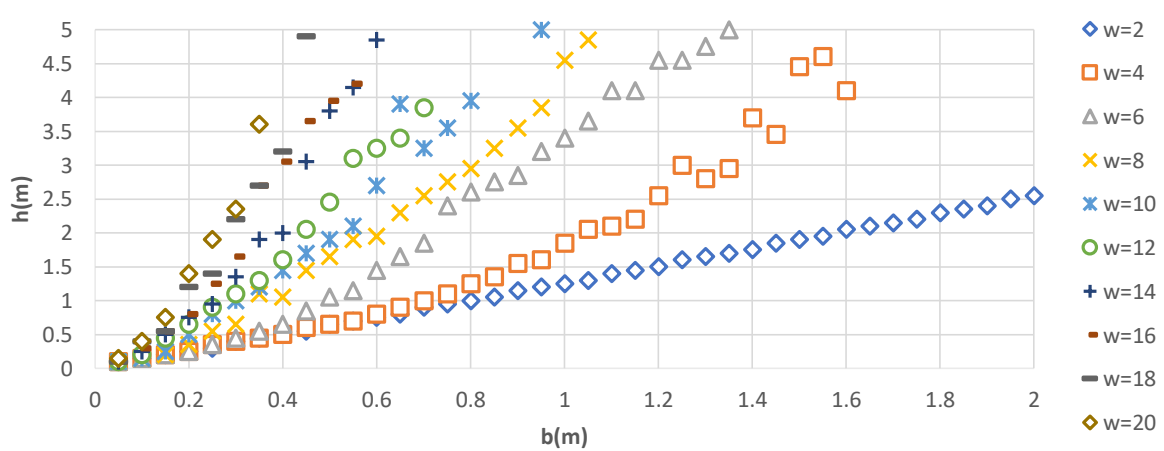
Curva de Volteo (Seno-PGA=0.7g)



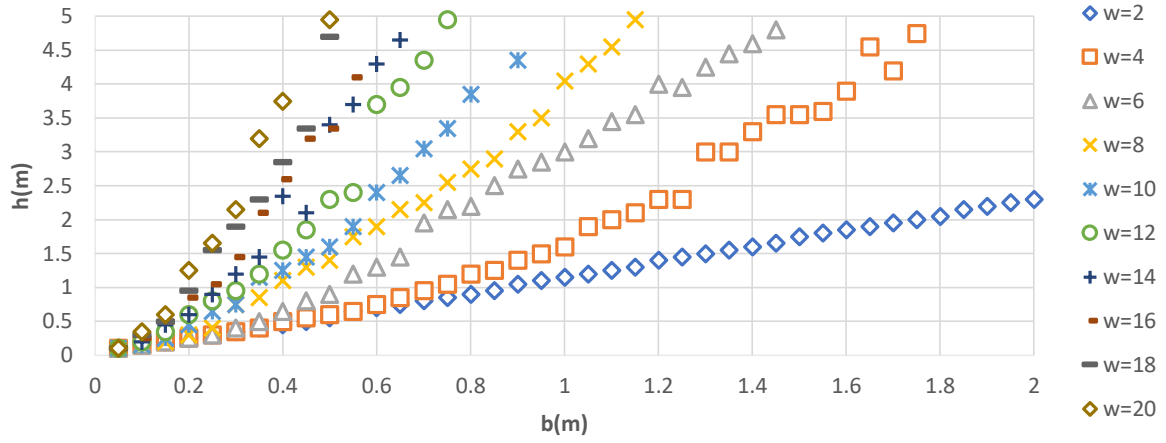
Curva de Volteo (Seno-PGA=0.8g)



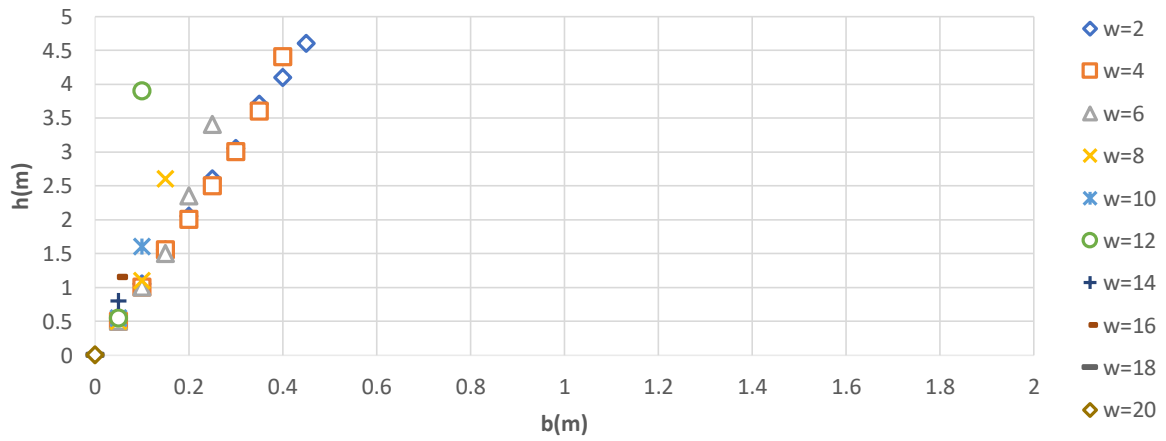
Curva de Volteo (Seno-PGA=0.9g)



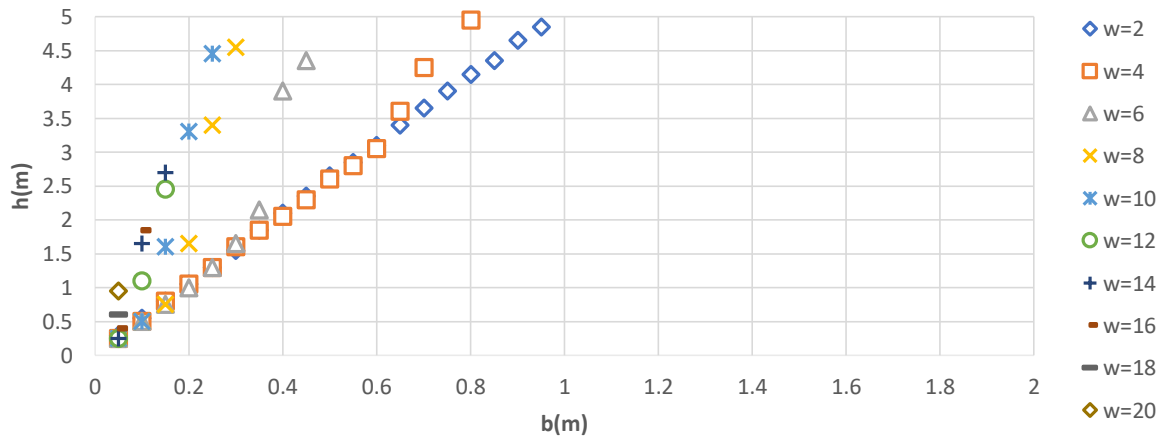
Curva de Volteo (Seno-PGA=1g)



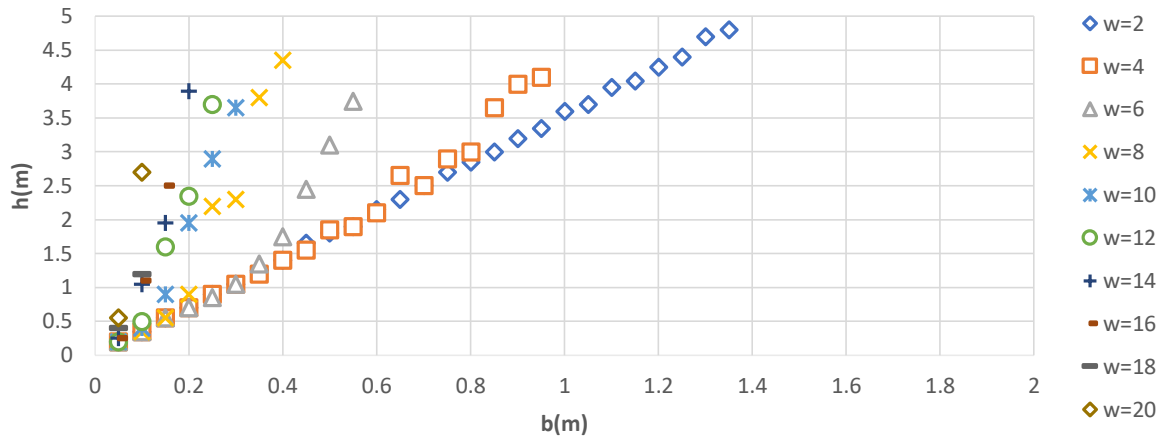
Curva de Volteo (MSAV-PGA=0.1g)



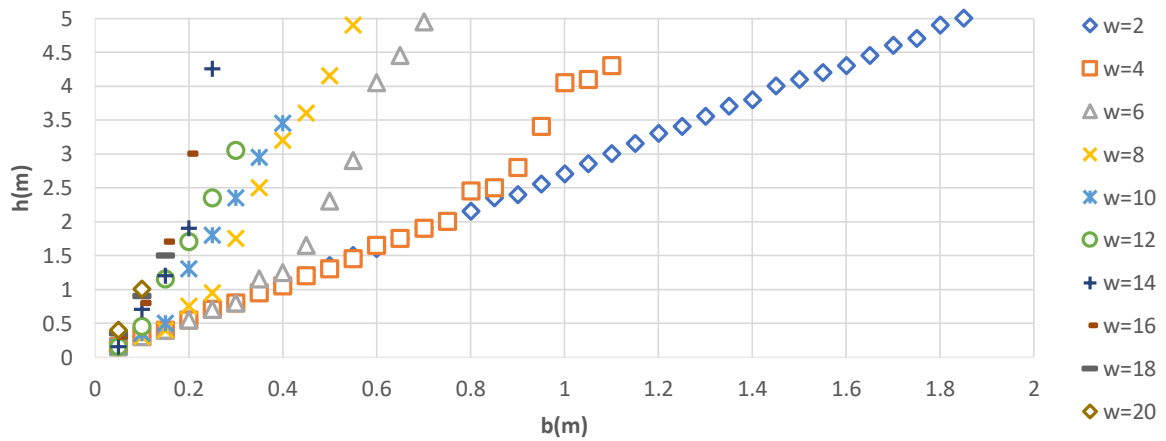
Curva de Volteo (MSAV-PGA=0.2g)



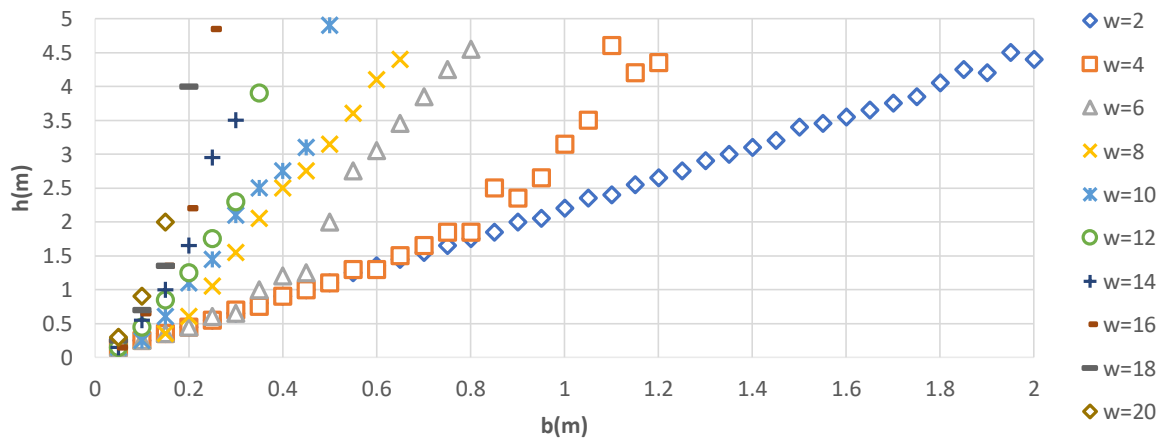
Curva de Volteo (MSAV-PGA=0.3g)



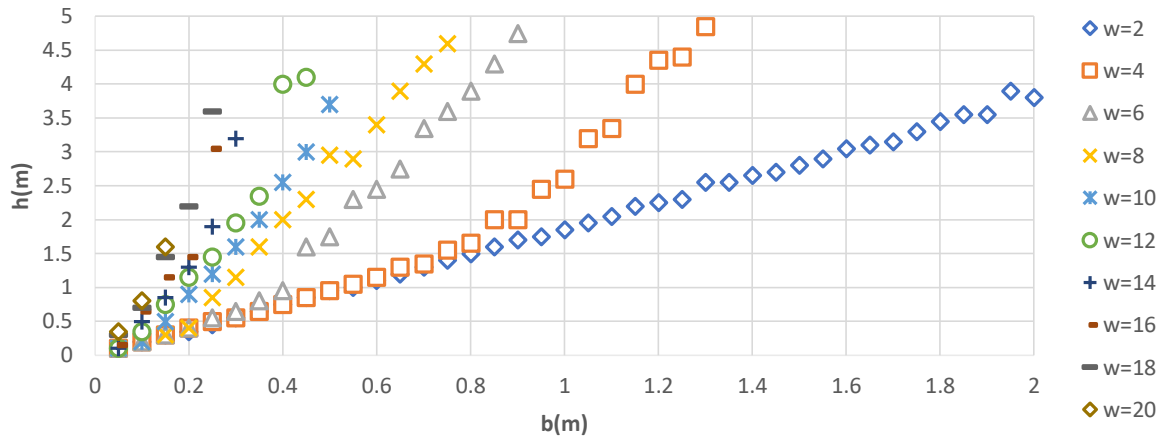
Curva de Volteo (MSAV-PGA=0.4g)



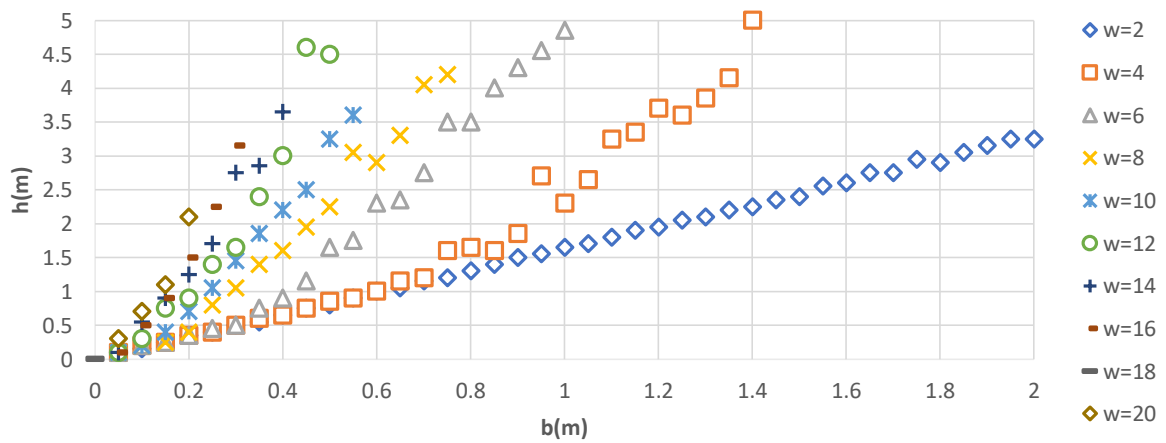
Curva de Volteo (MSAV-PGA=0.5g)



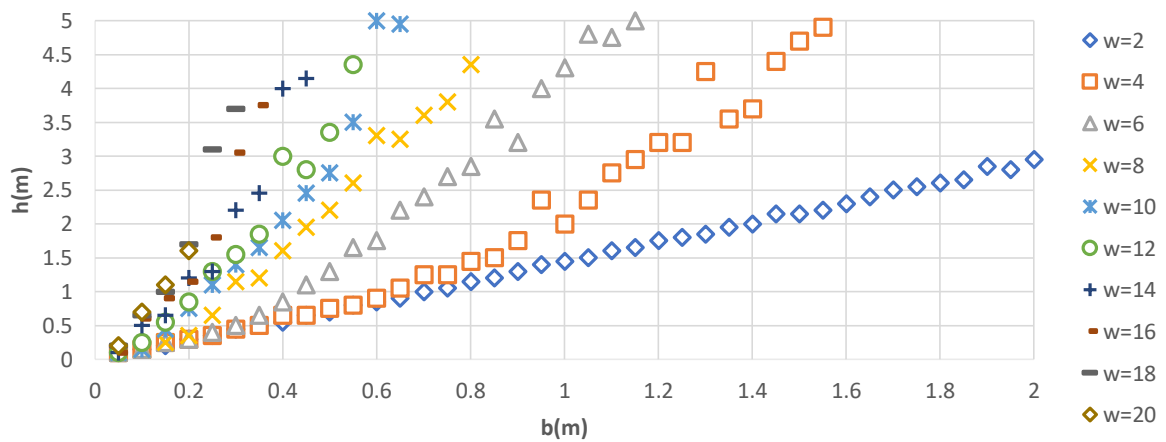
Curva de Volteo (MSAV-PGA=0.6g)



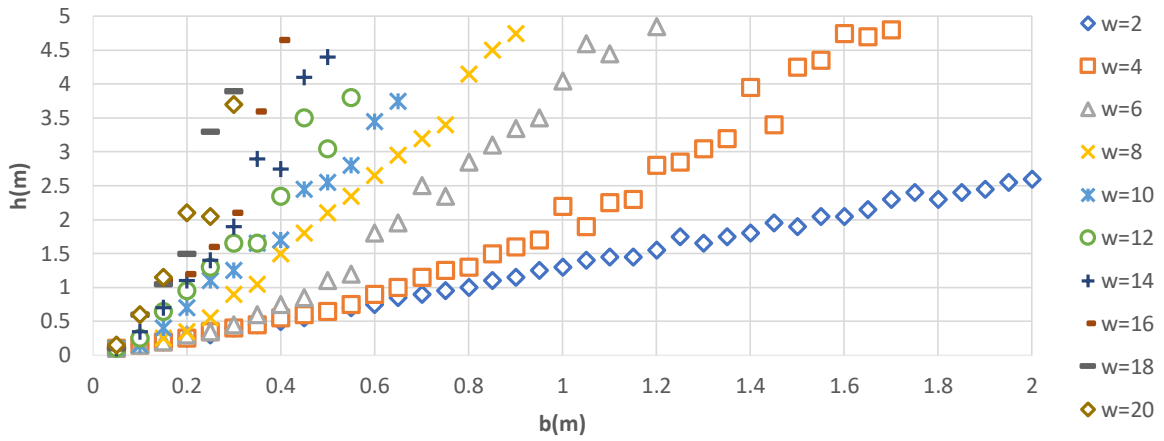
Curva de Volteo (MSAV-PGA=0.7g)



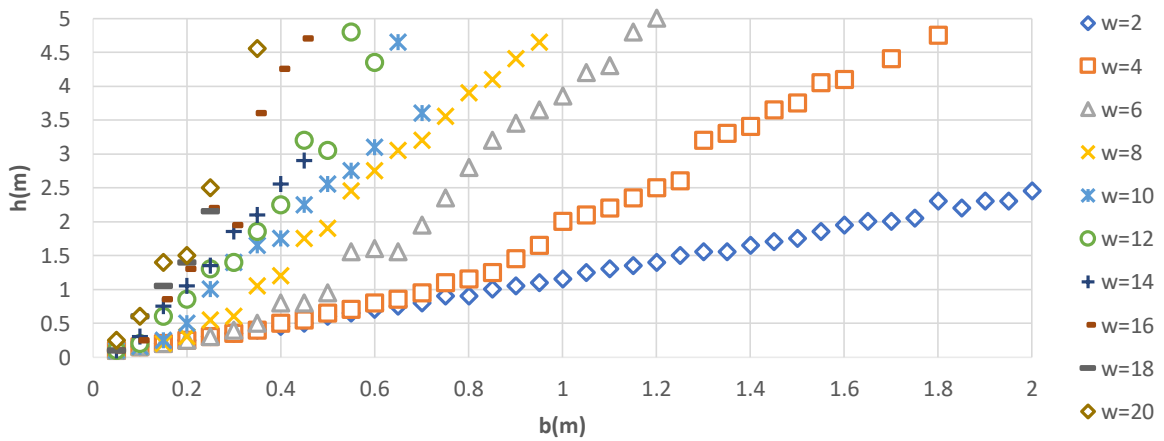
Curva de Volteo (MSAV-PGA=0.8g)



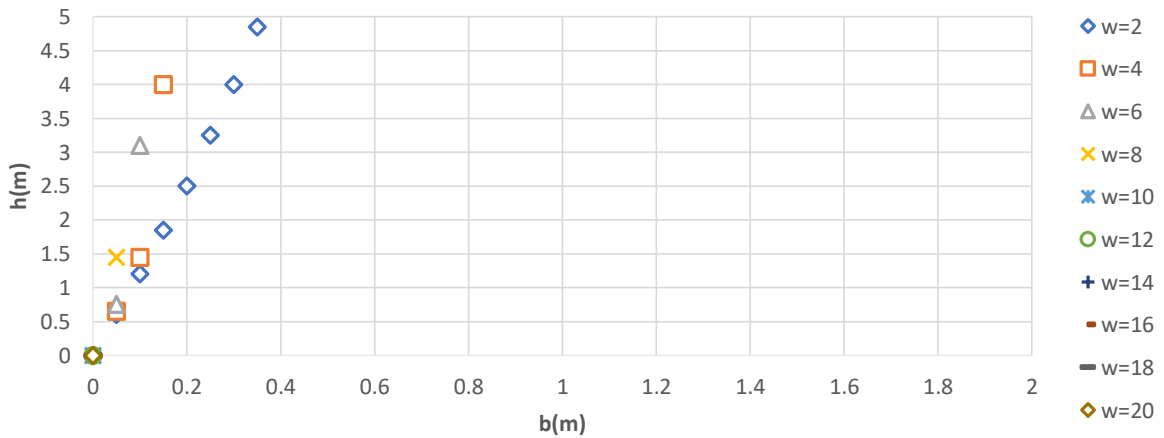
Curva de Volteo (MSAV-PGA=0.9g)



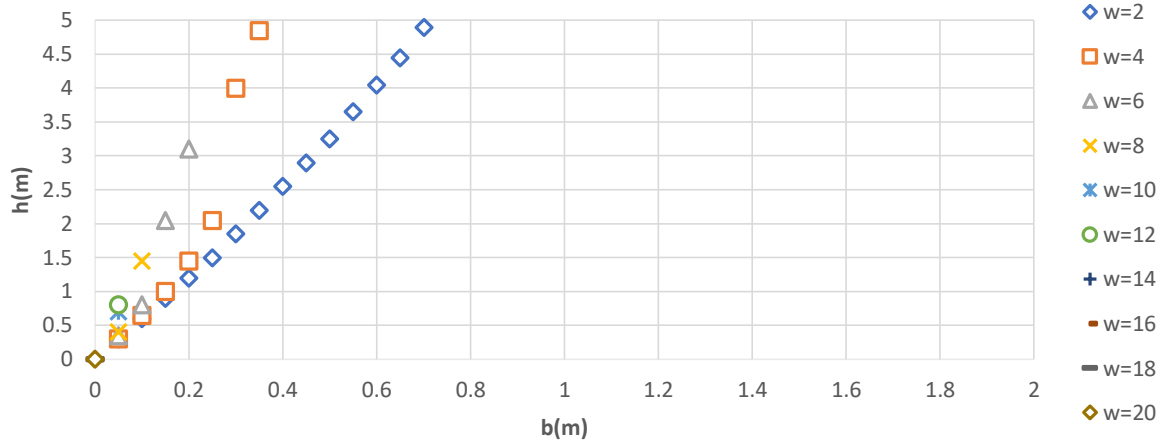
Curva de Volteo (MSAV-PGA=1g)



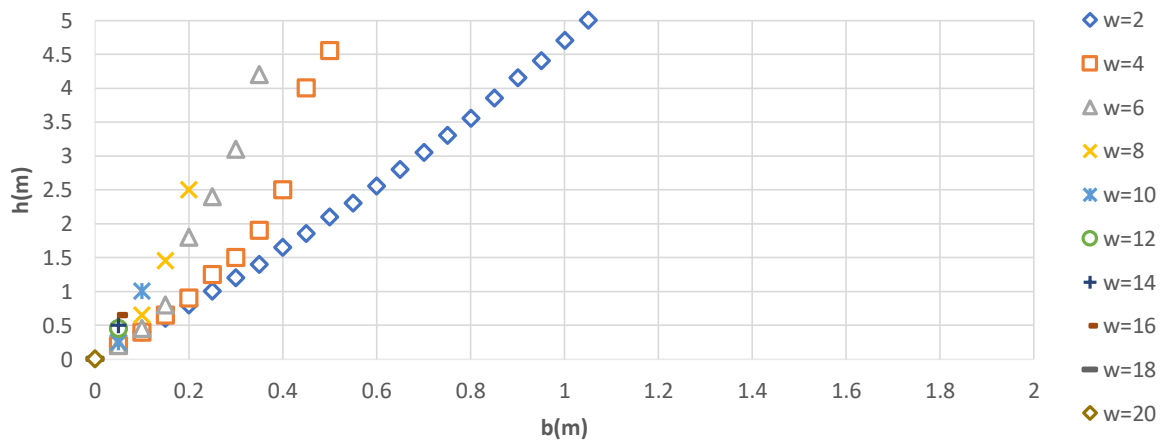
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGA=0.1g)



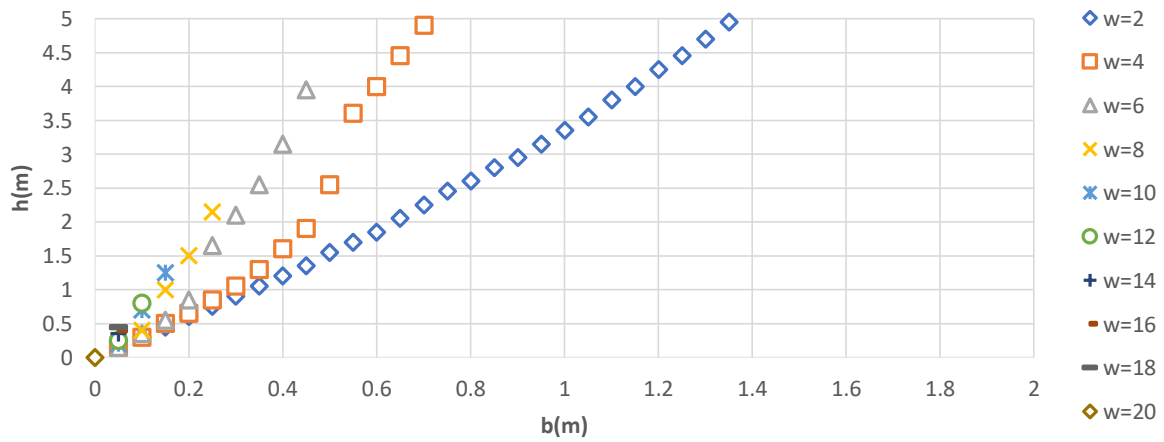
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGA=0.2g)



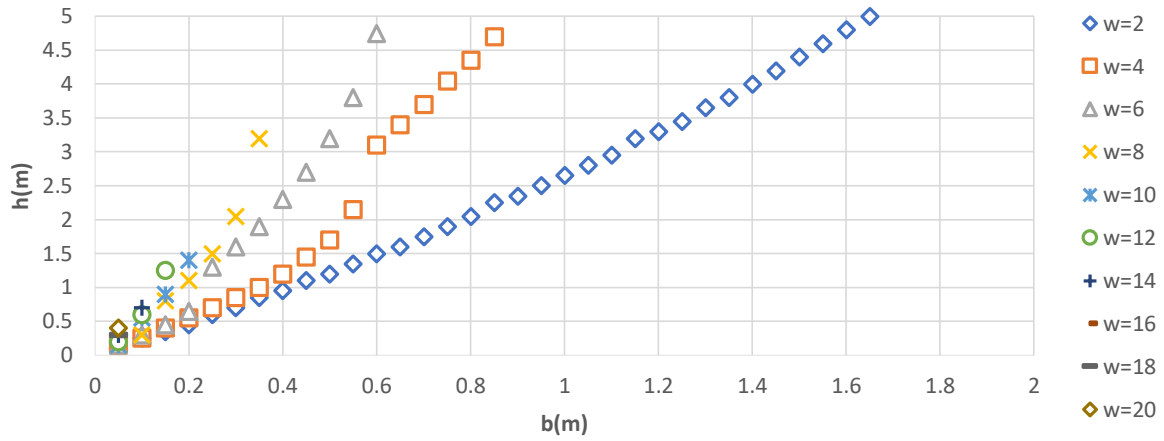
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGA=0.3g)



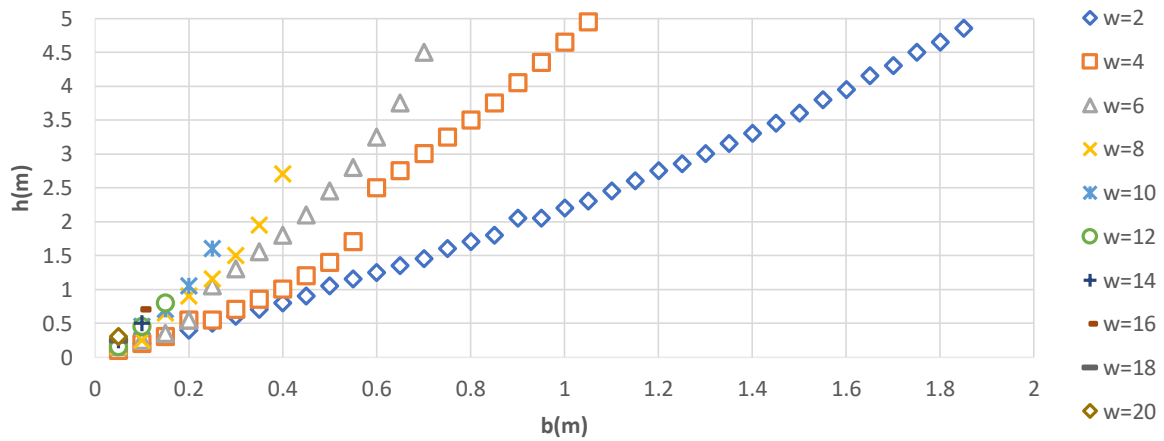
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGA=0.4g)



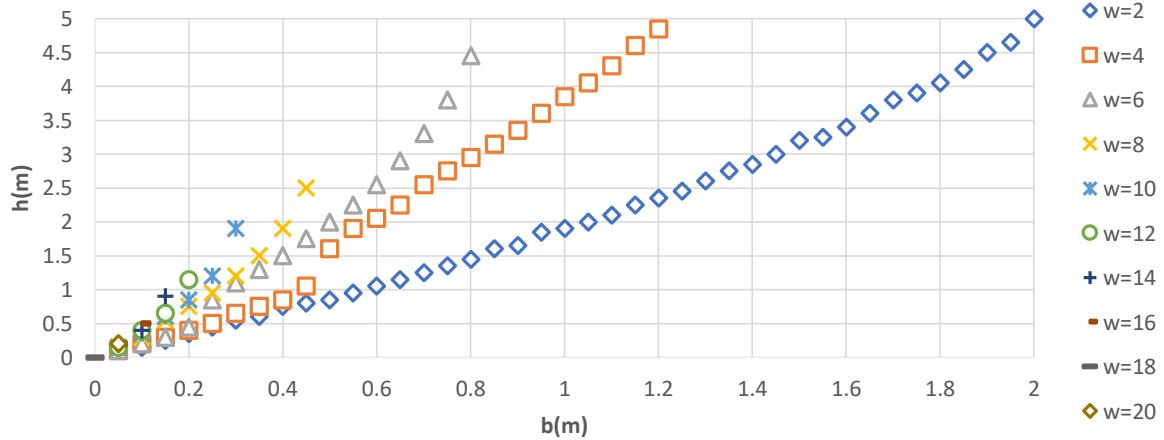
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGA=0.5g)



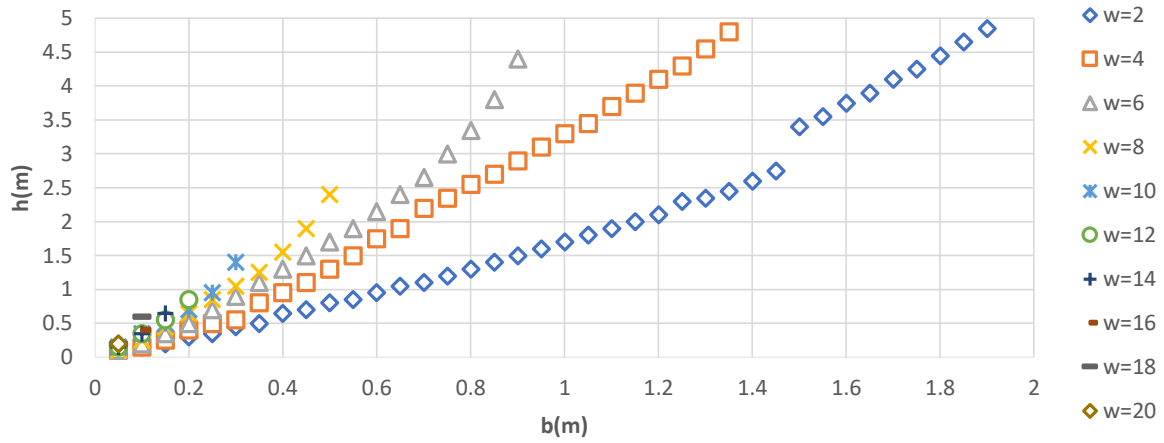
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGA=0.6g)



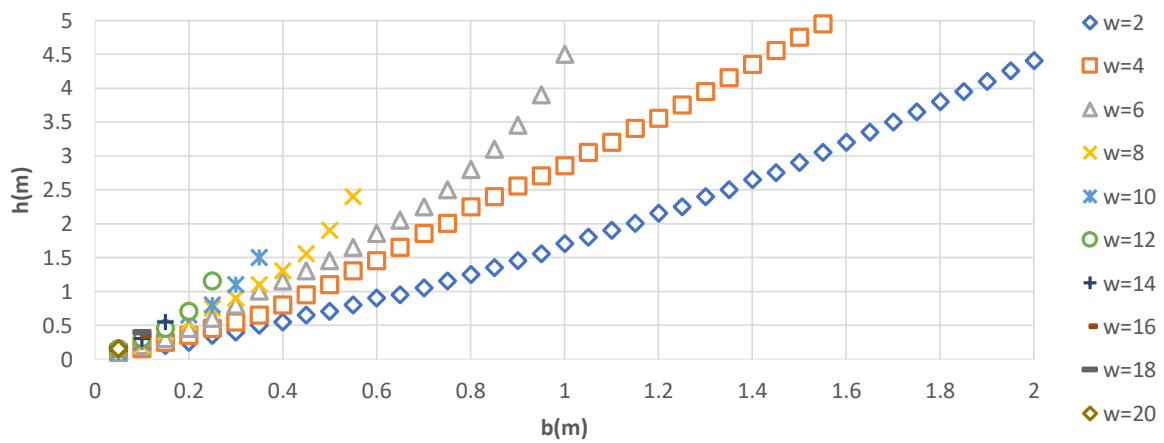
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGA=0.7g)



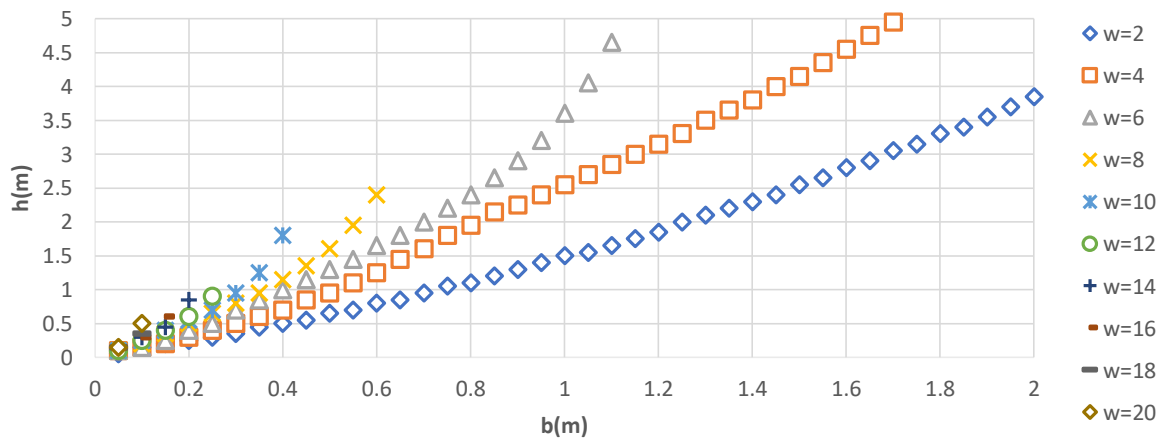
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGA=0.8g)



Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGA=0.9g)

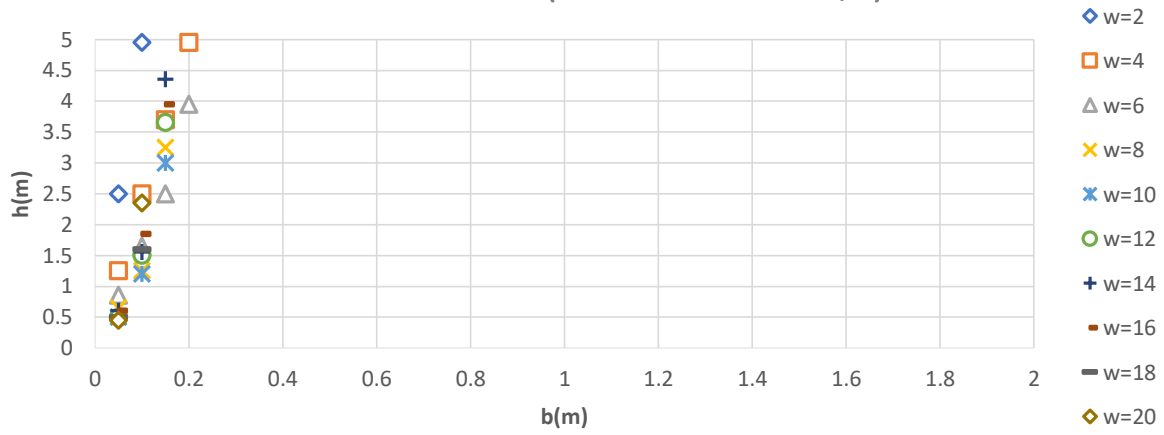


Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGA=1g)

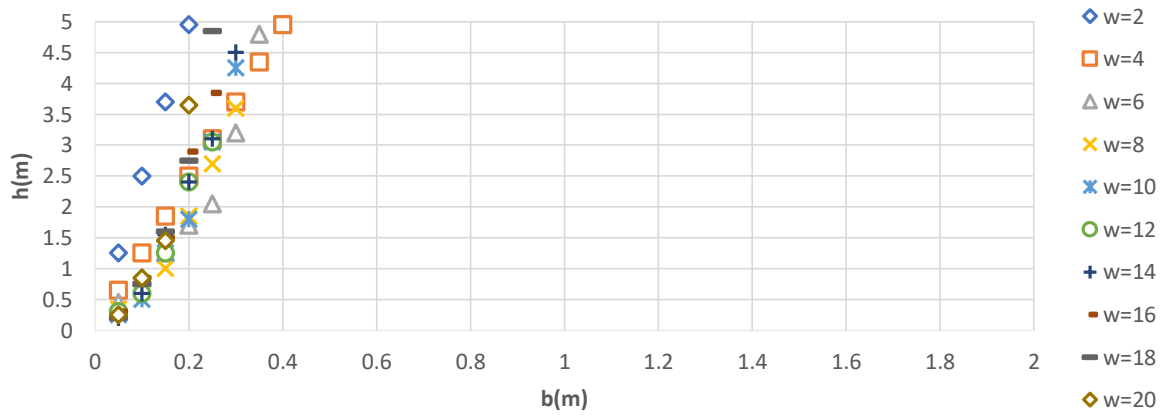


ANEXO 2

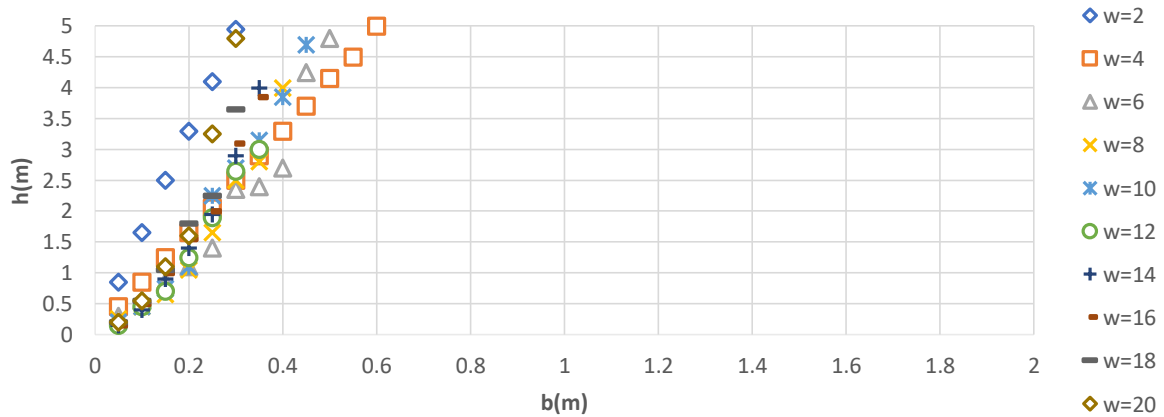
Curva de Volteo (Seno-PGV=0.2 m/s)



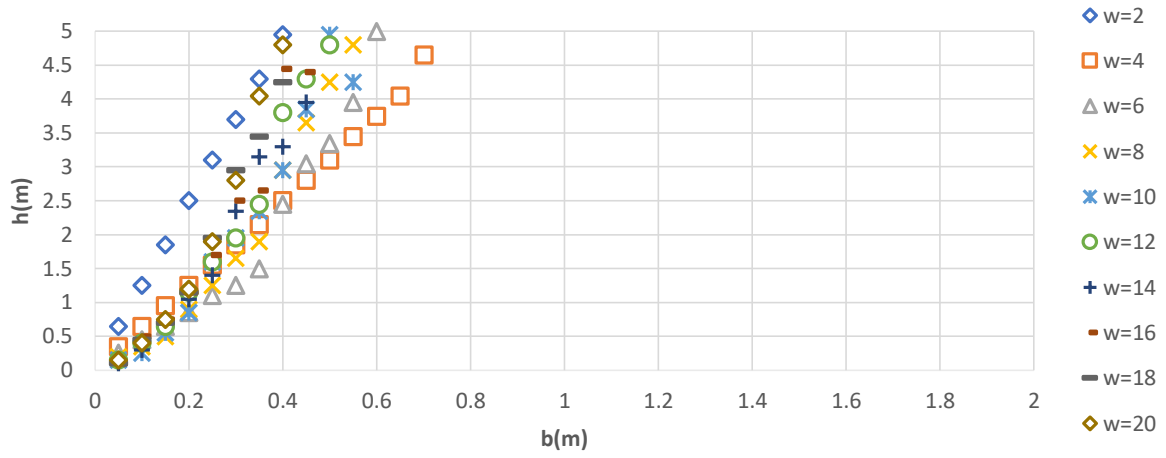
Curva de Volteo (Seno-PGV=0.4 m/s)



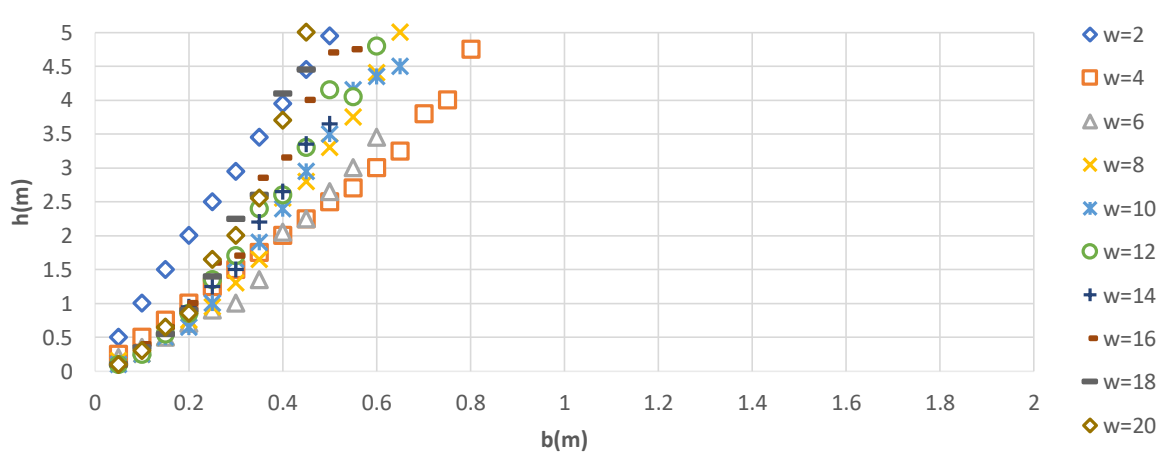
Curva de Volteo (Seno-PGV=0.6 m/s)



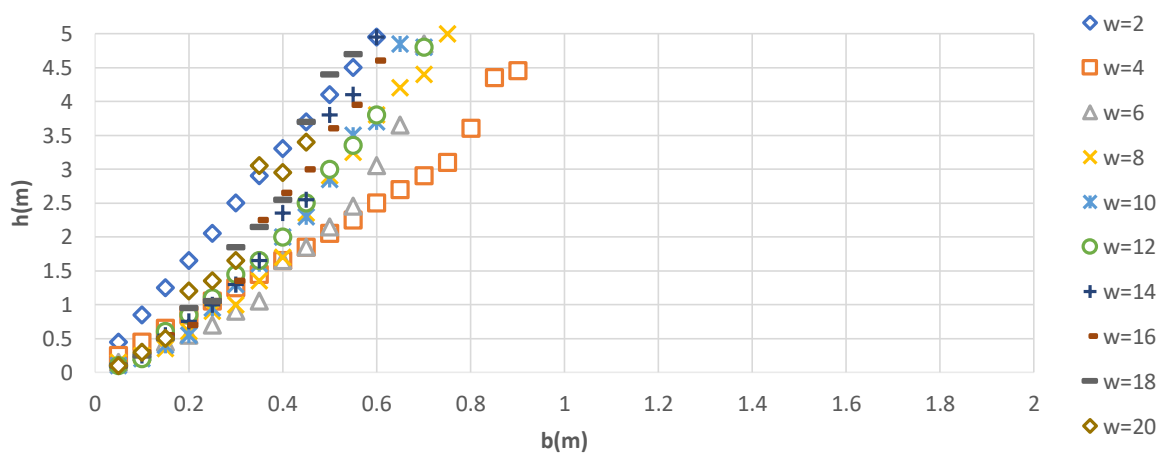
Curva de Volteo (Seno-PGV=0.8 m/s)



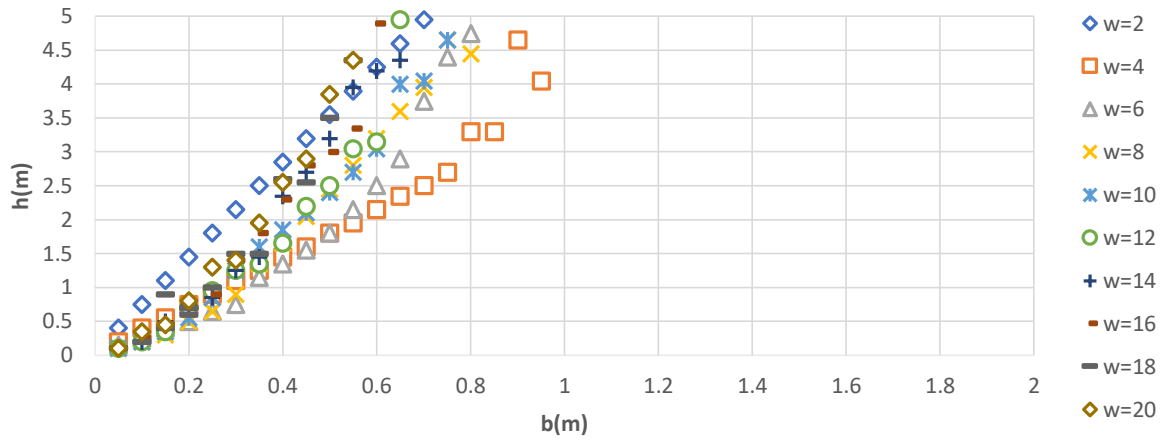
Curva de Volteo (Seno-PGV=1 m/s)



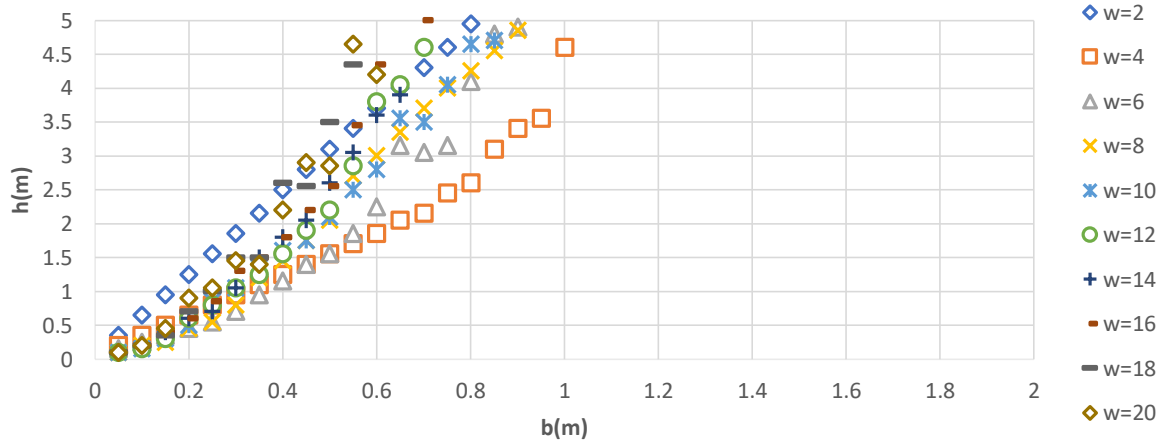
Curva de Volteo (Seno-PGV=1.2 m/s)



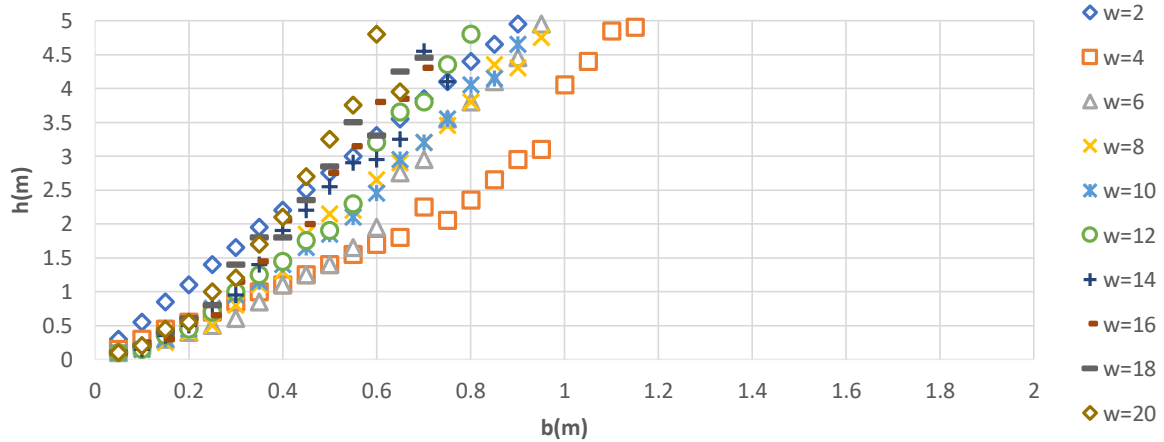
Curva de Volteo (Seno-PGV=1.4 m/s)



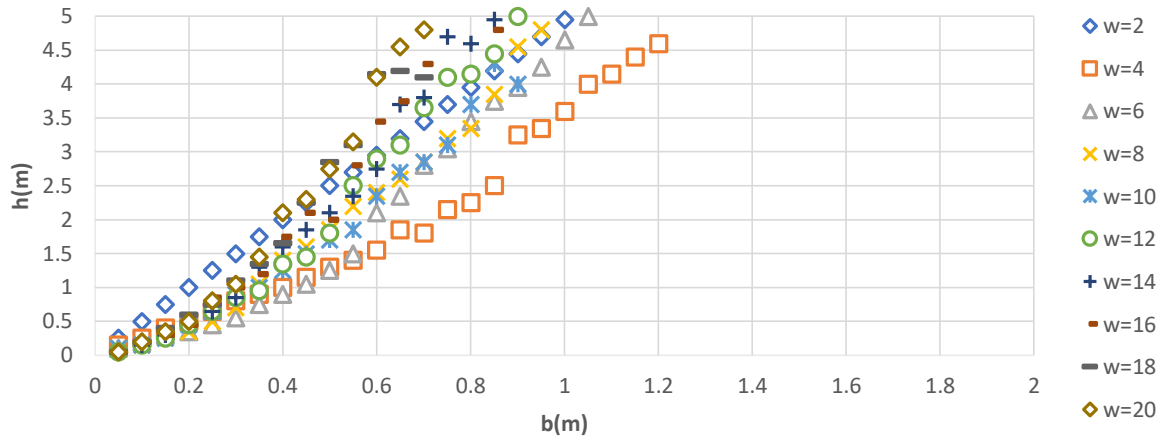
Curva de Volteo (Seno-PGV=1.6 m/s)



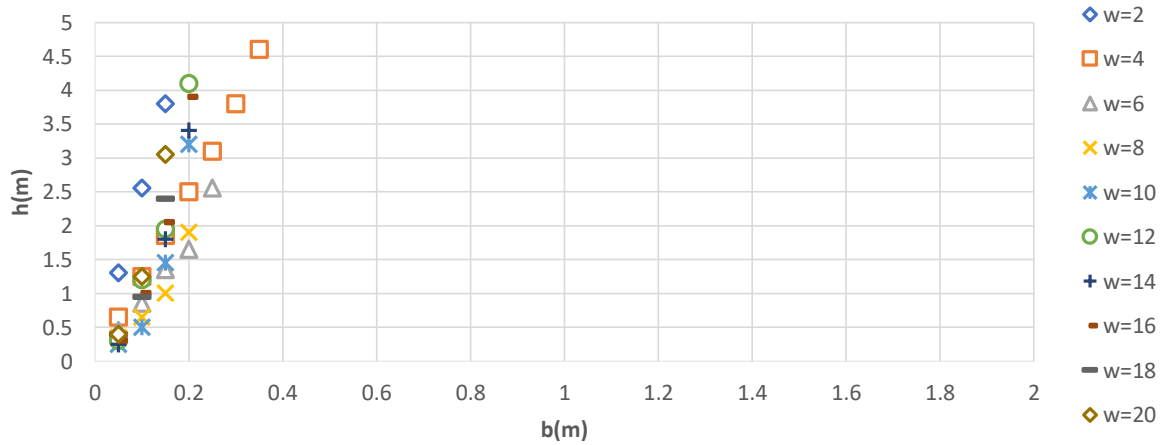
Curva de Volteo (Seno-PGV=1.8 m/s)



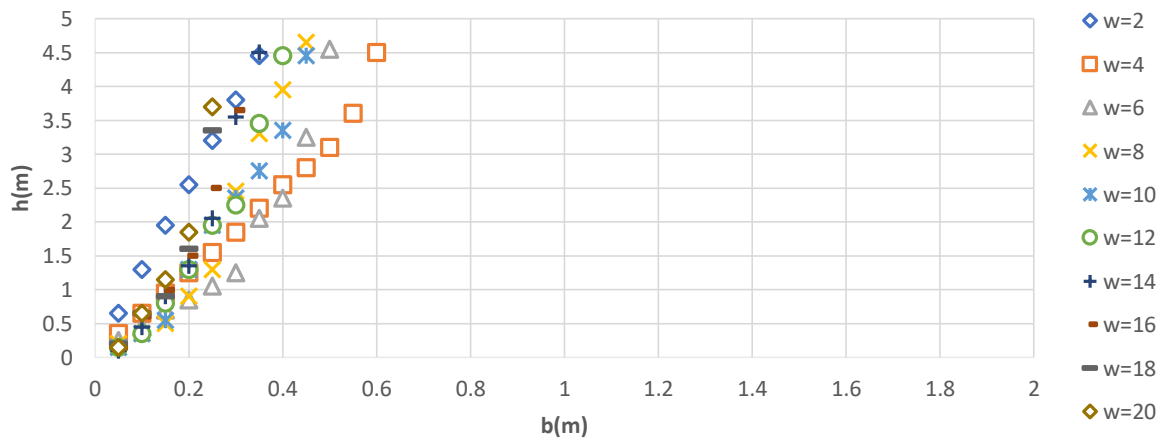
Curva de Volteo (Seno-PGV=2 m/s)



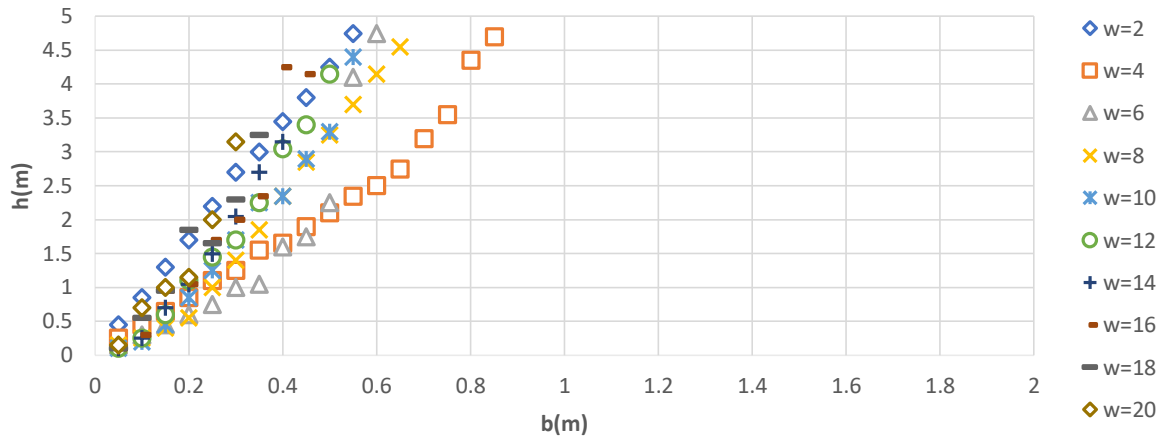
Curva de Volteo (MSAV-PGV=0.2 m/s)



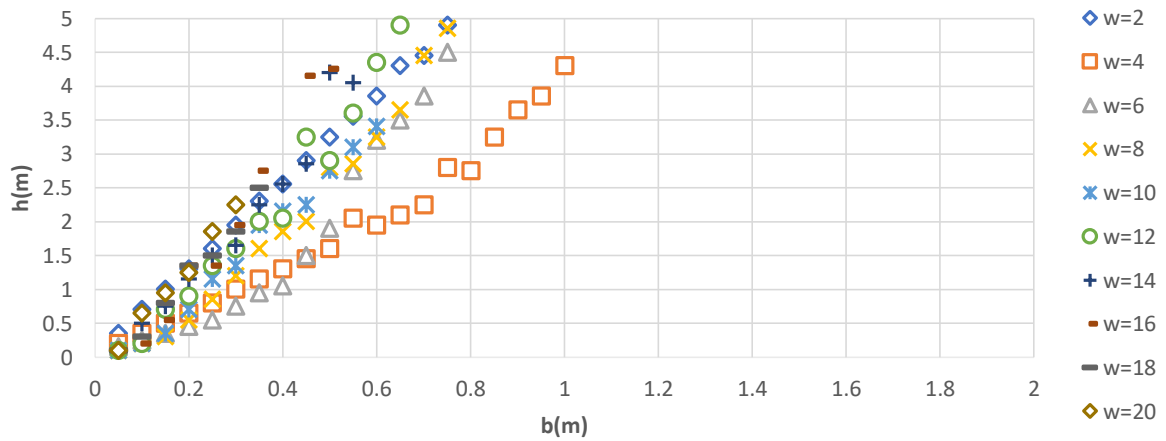
Curva de Volteo (MSAV-PGV=0.4 m/s)



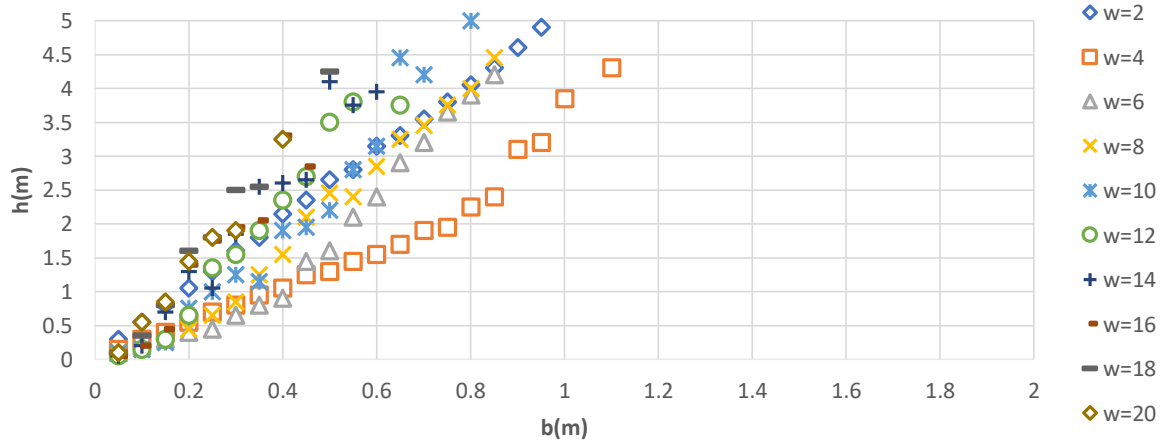
Curva de Volteo (MSAV-PGV=0.6 m/s)



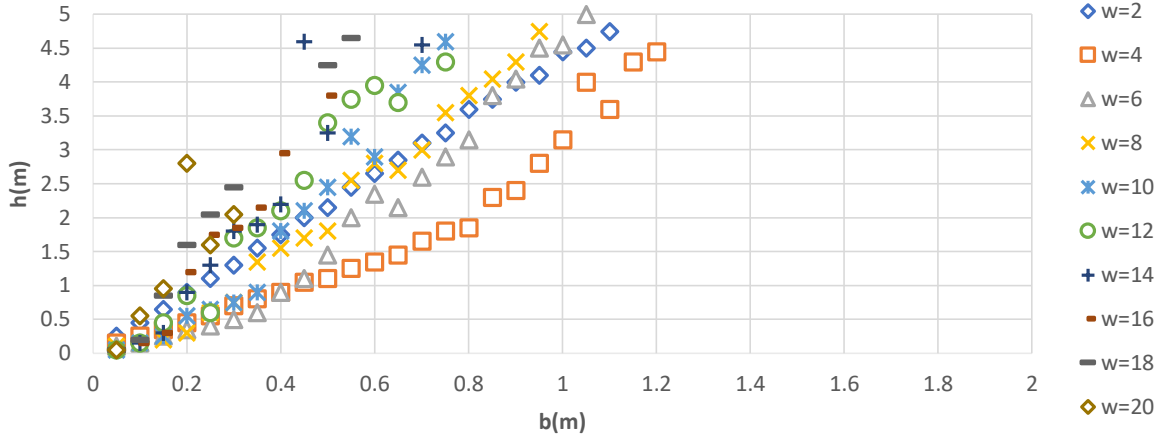
Curva de Volteo (MSAV-PGV=0.6 m/s)



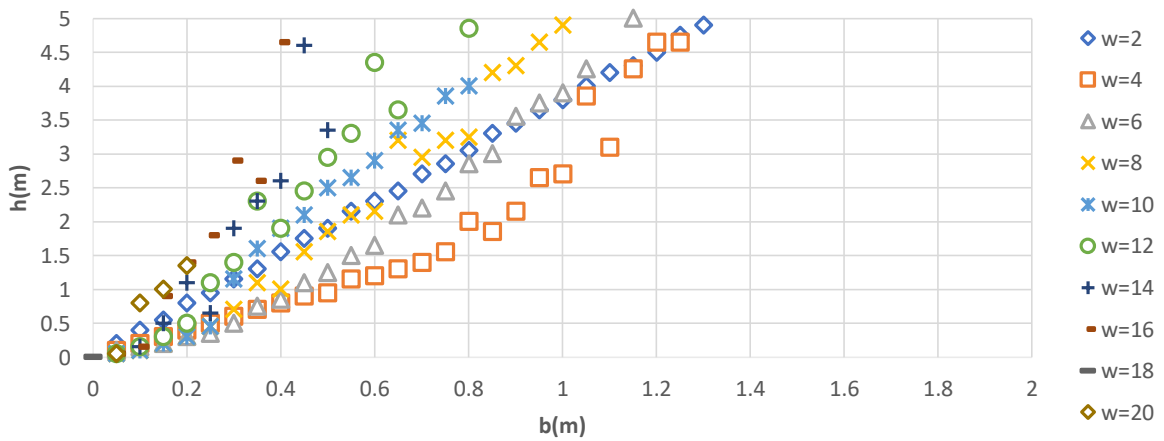
Curva de Volteo (MSAV-PGV=1 m/s)



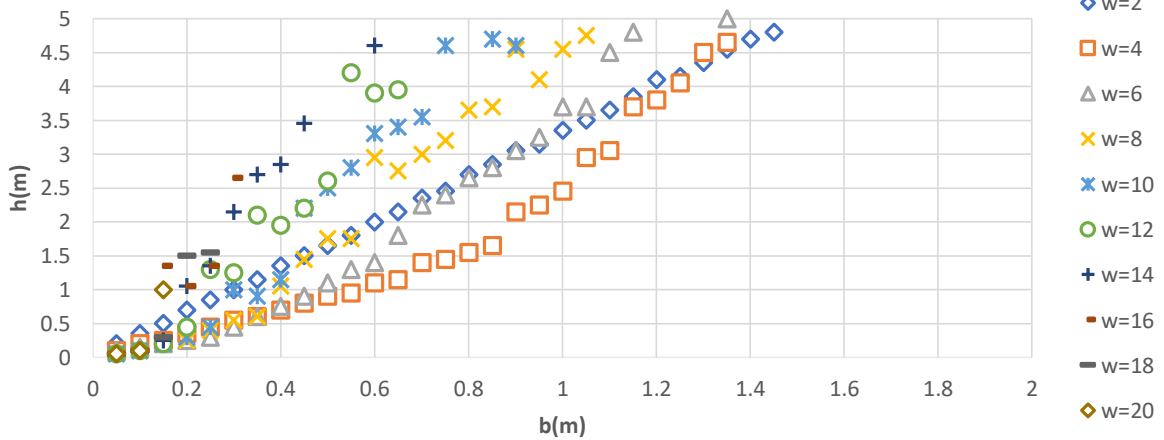
Curva de Volteo (MSAV-PGV=1.2 m/s)



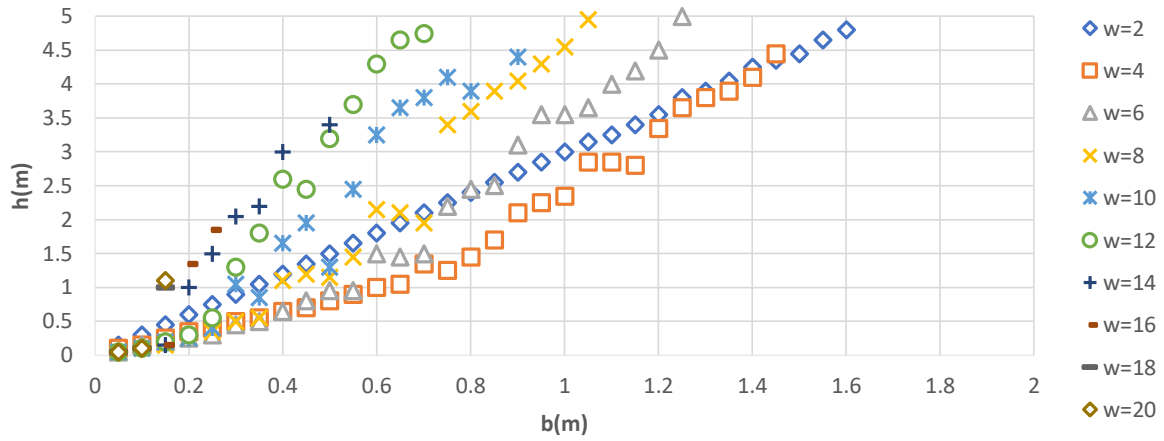
Curva de Volteo (MSAV-PGV=1.4 m/s)



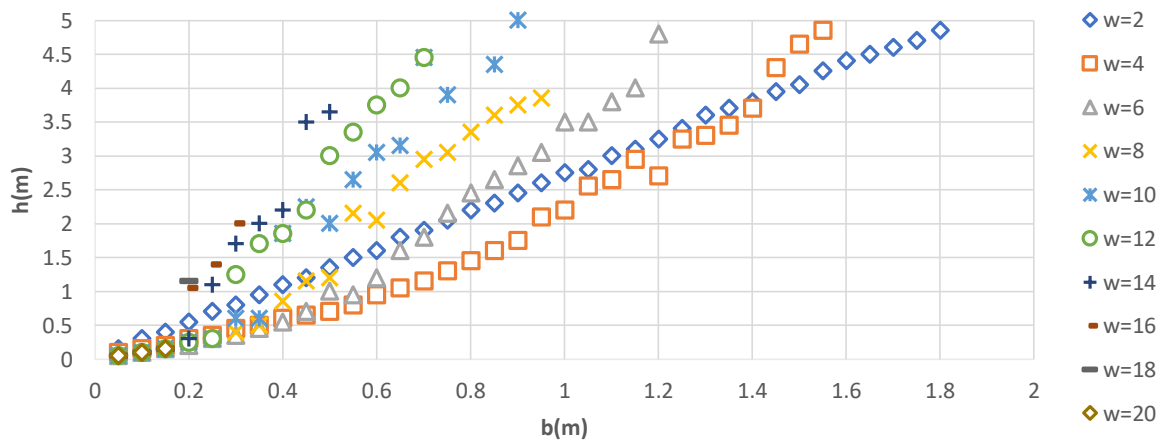
Curva de Volteo (MSAV-PGV=1.6 m/s)



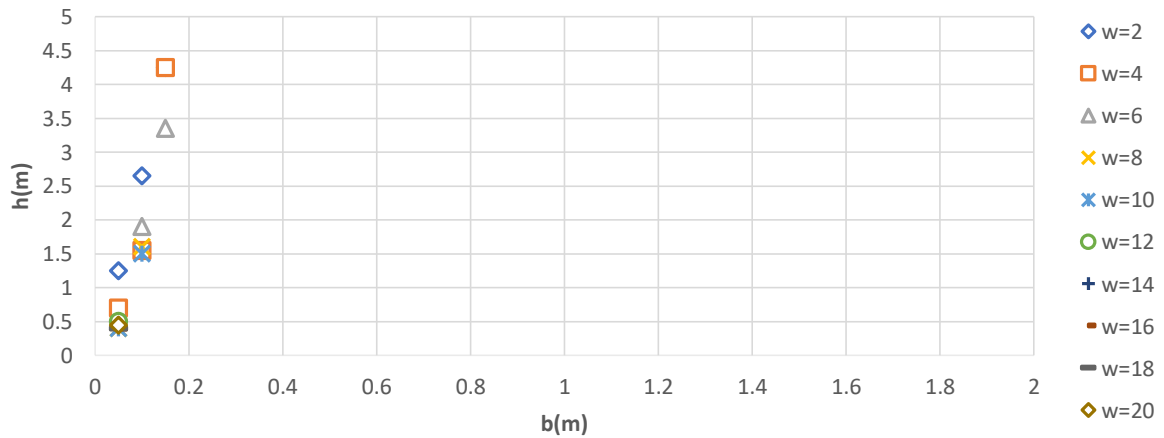
Curva de Volteo (MSAV-PGV=1.8 m/s)



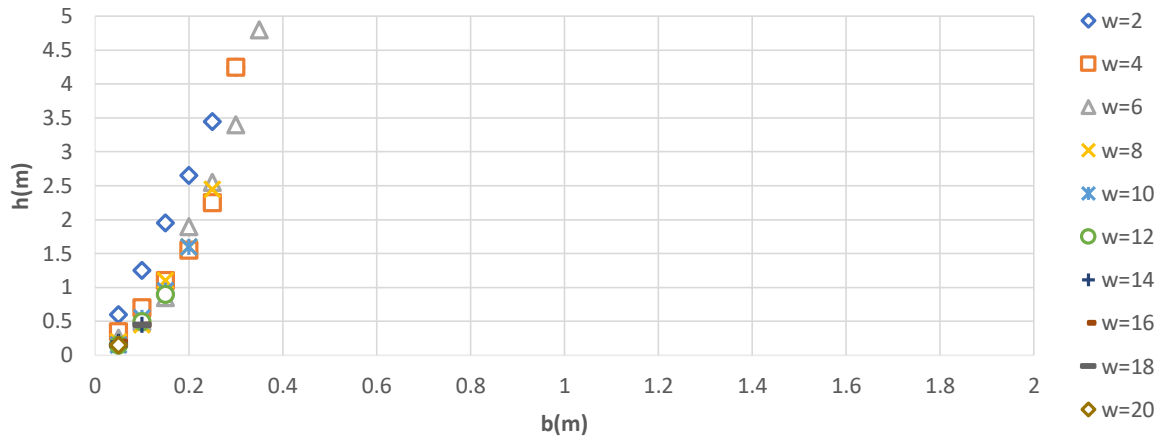
Curva de Volteo (MSAV-PGV=2m/s)



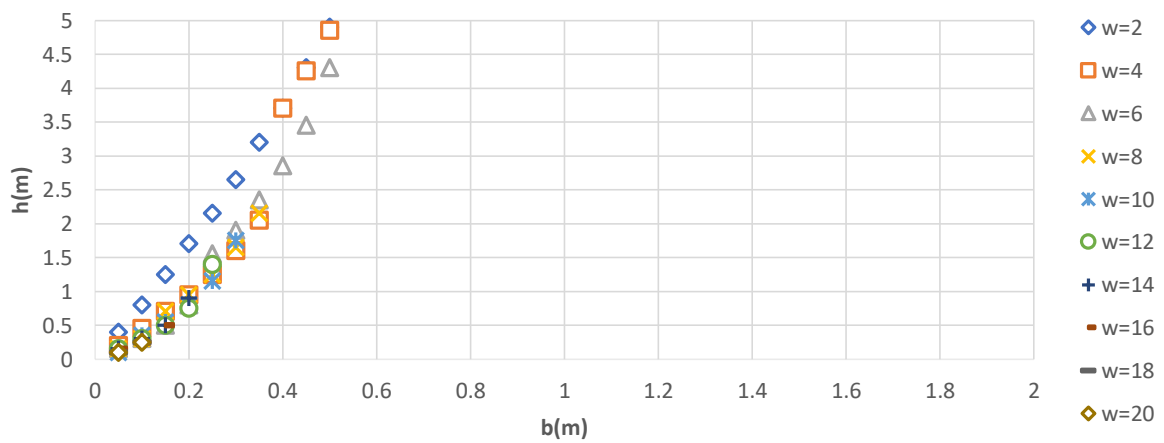
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGV=0.2 m/s)



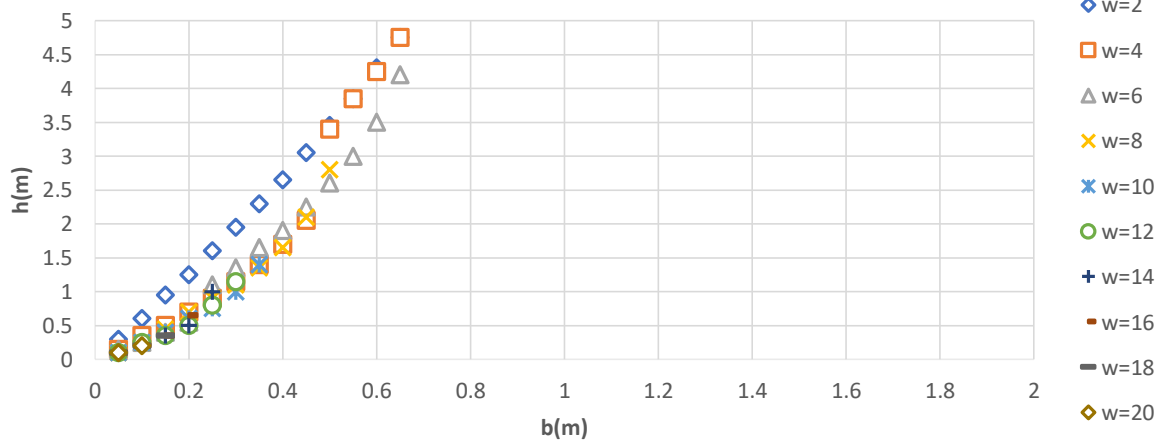
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGV=0.4 m/s)



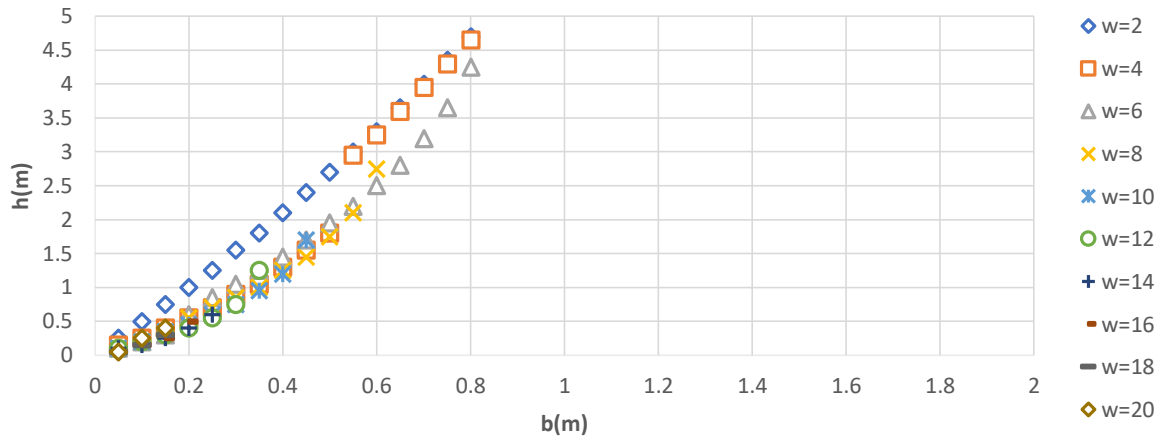
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGV=0.6 m/s)



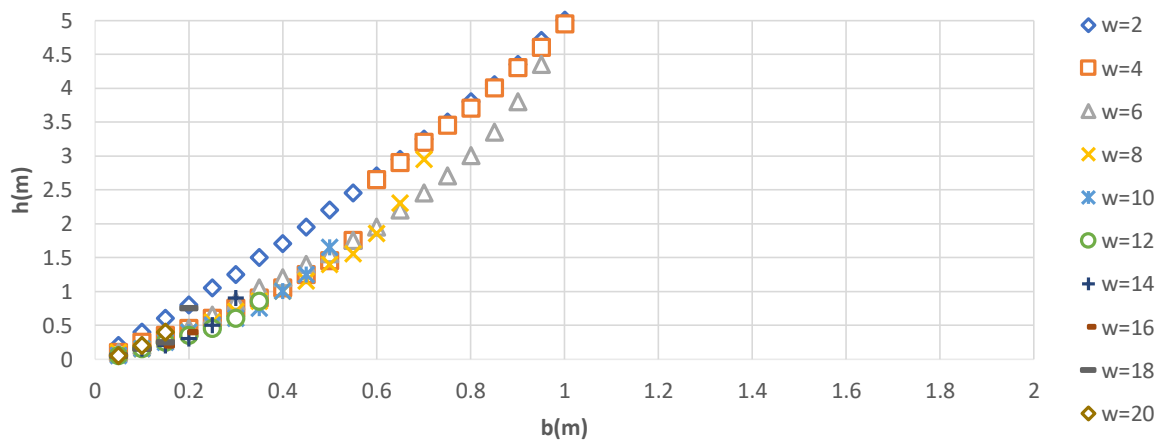
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGV=0.8 m/s)



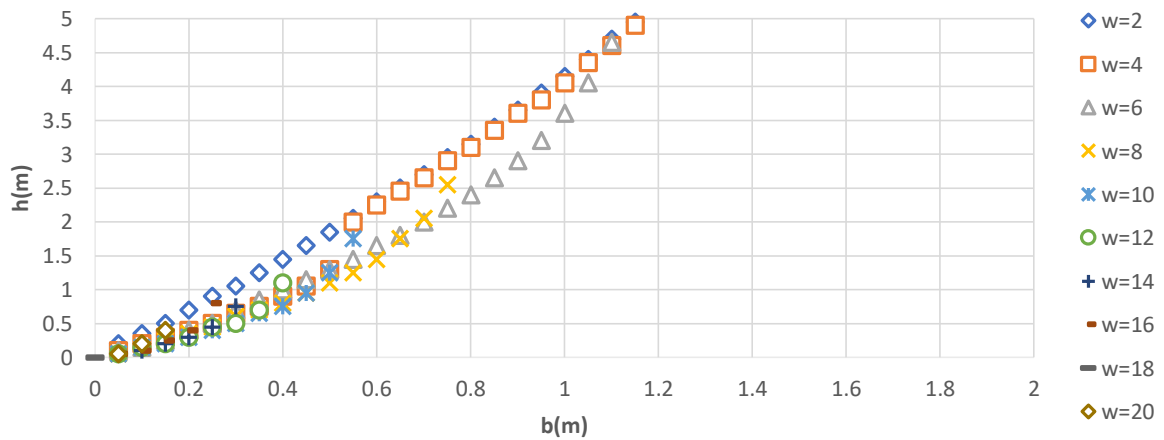
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGV=1 m/s)



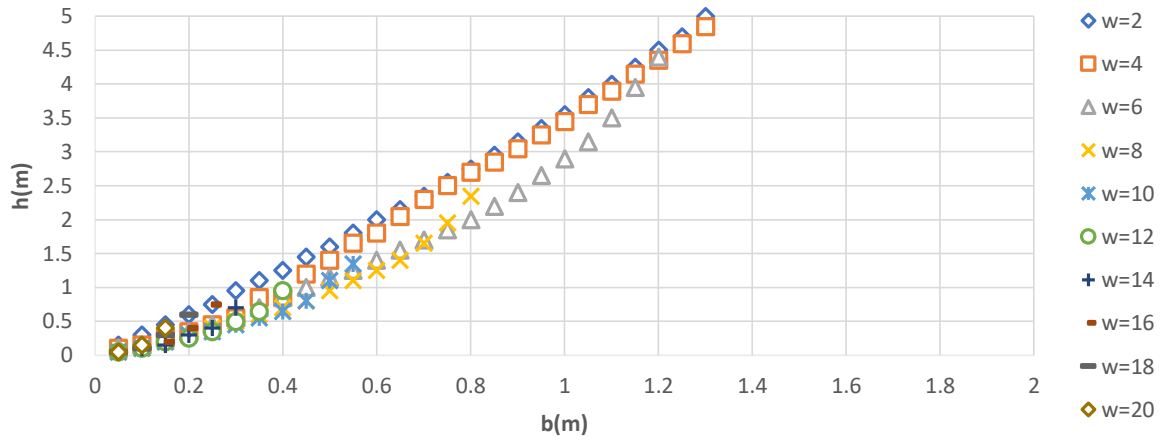
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGV=1.2 m/s)



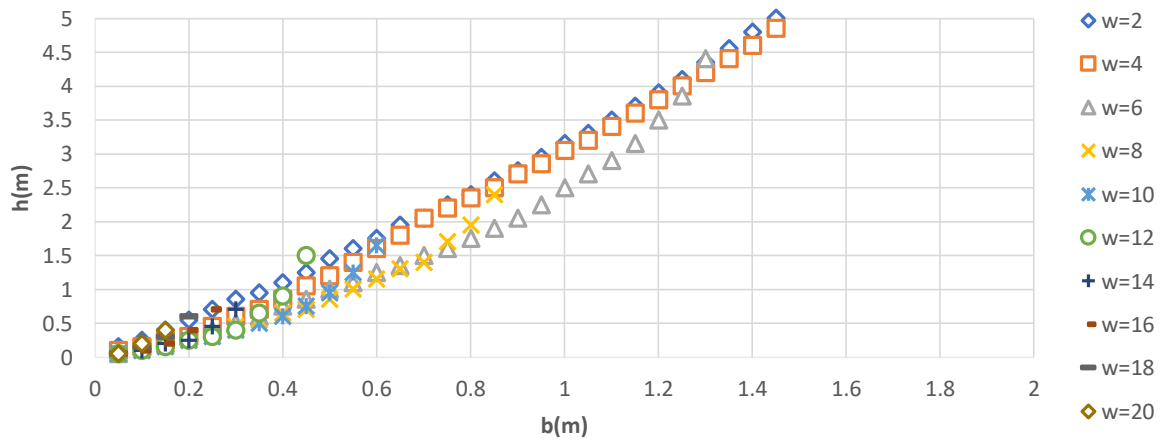
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGV=1.4 m/s)



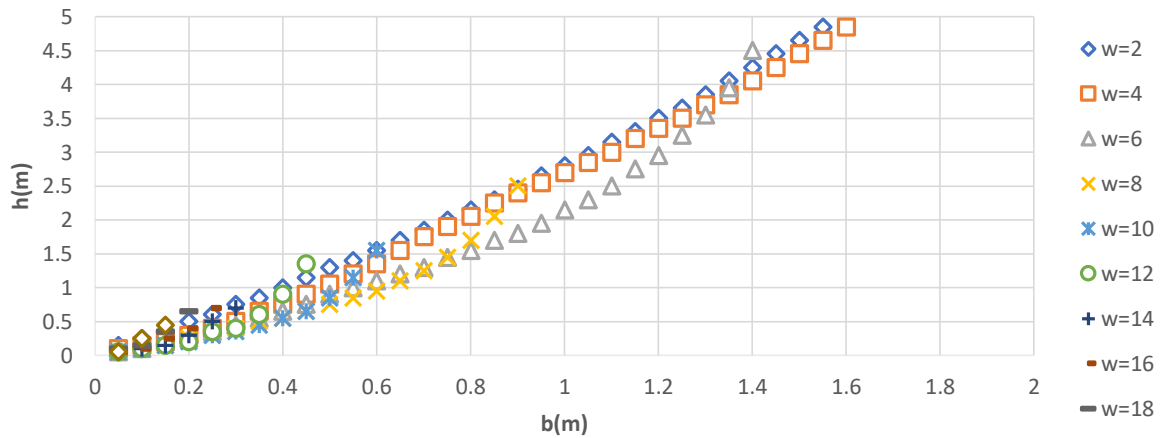
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGV=1.6 m/s)



Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGV=1.8 m/s)

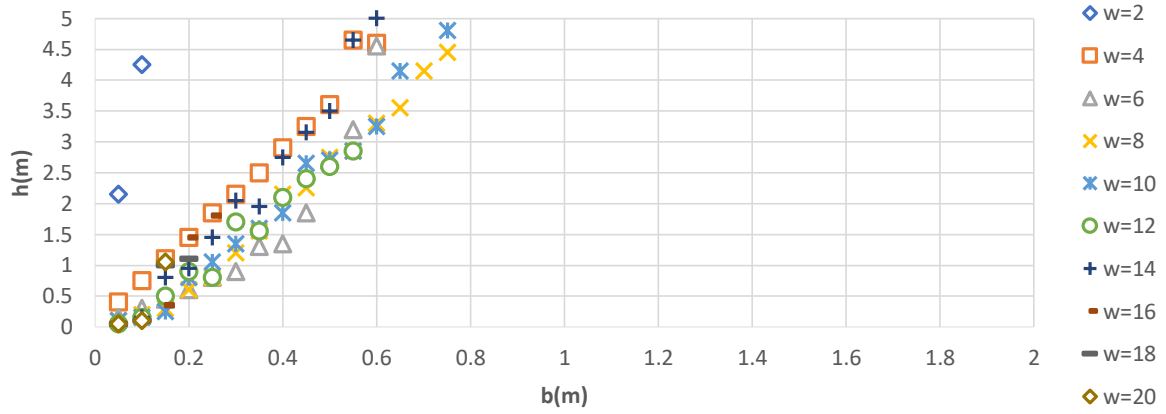


Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGV=2 m/s)

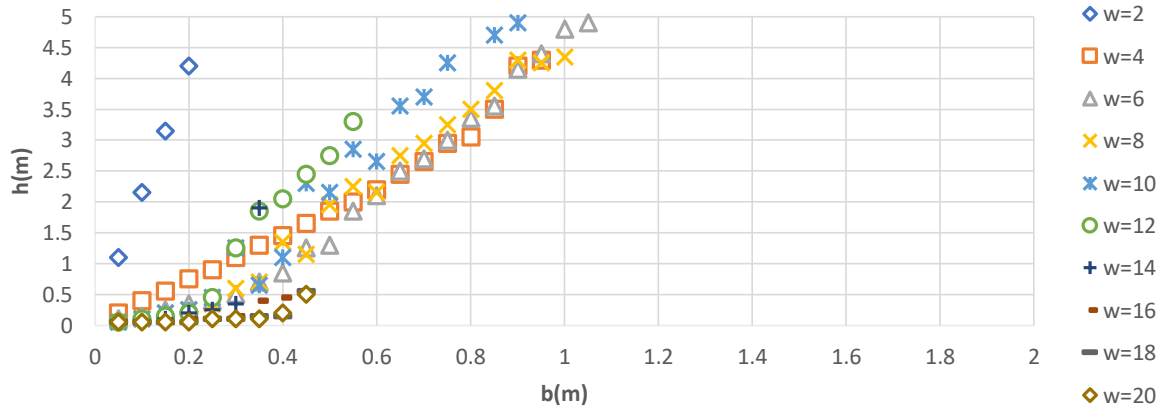


ANEXO 3

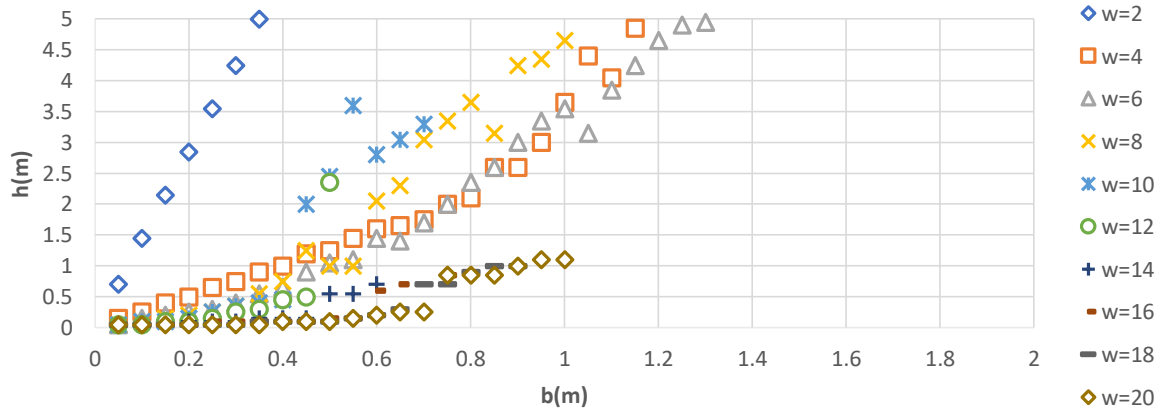
Curva de Volteo (MSAV-PGD=0.1 m)



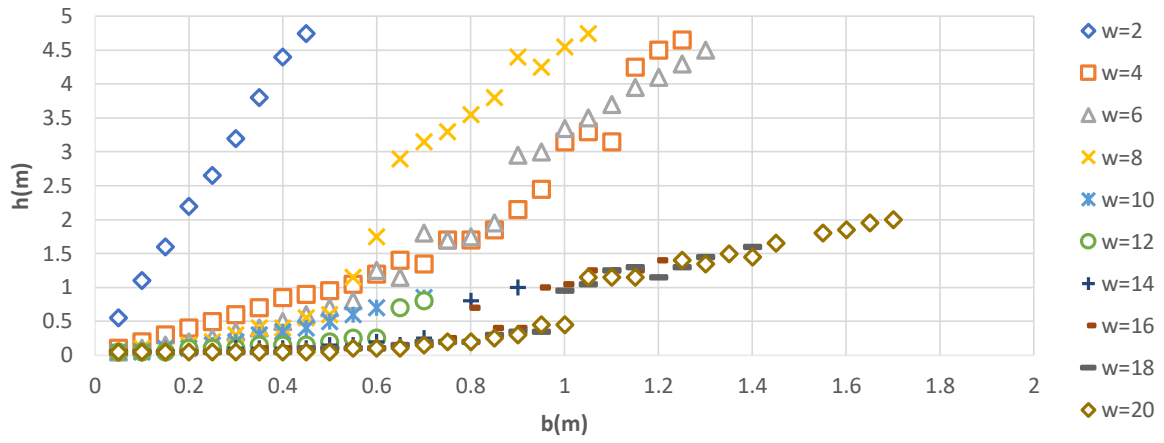
Curva de Volteo (MSAV-PGD=0.2 m)



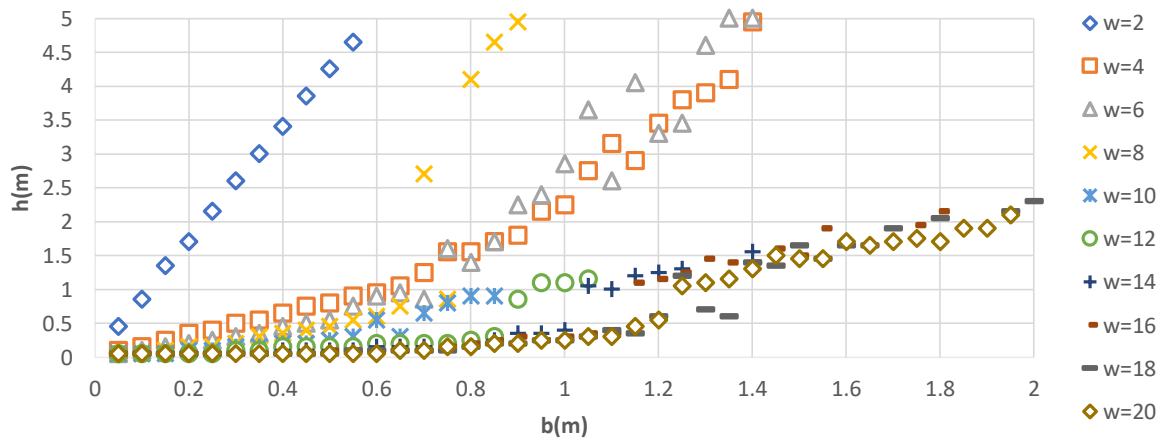
Curva de Volteo (MSAV-PGD=0.3 m)



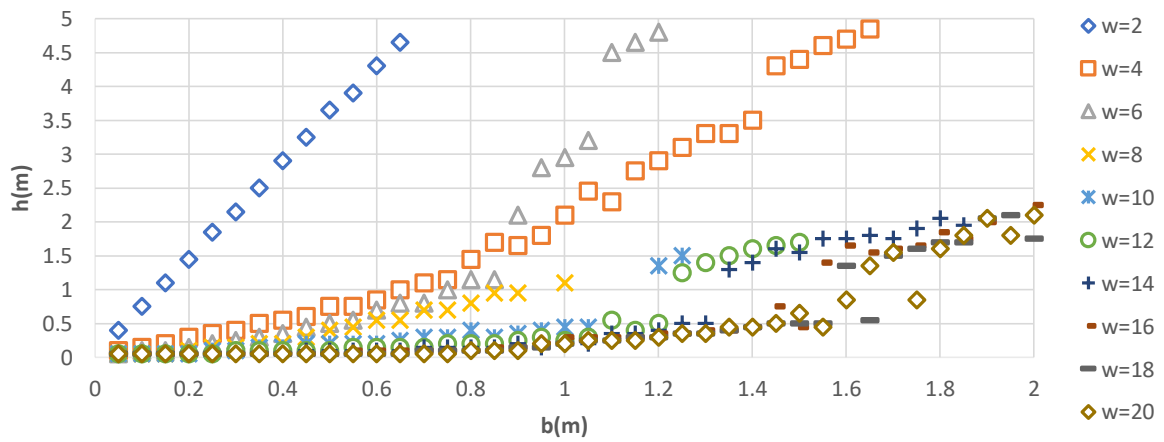
Curva de Volteo (MSAV-PGD=0.4 m)



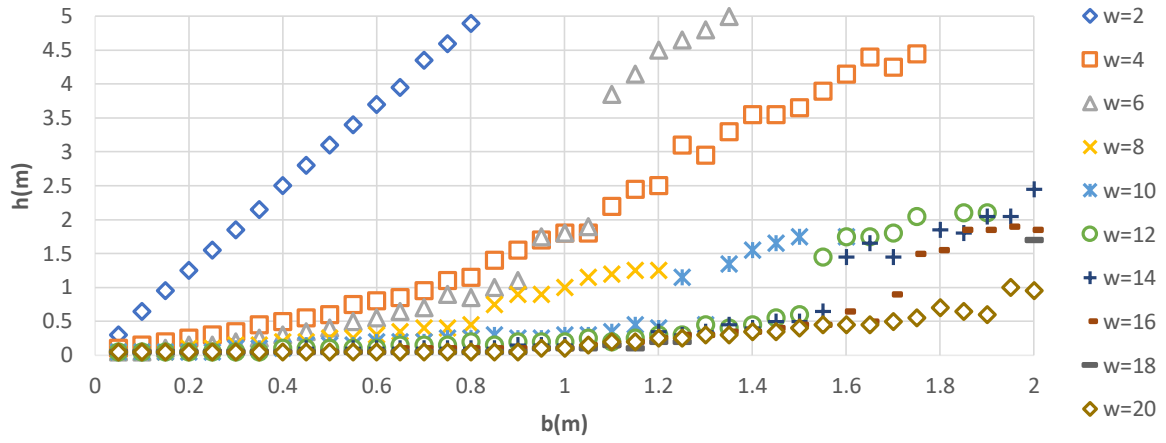
Curva de Volteo (MSAV-PGD=0.5 m)



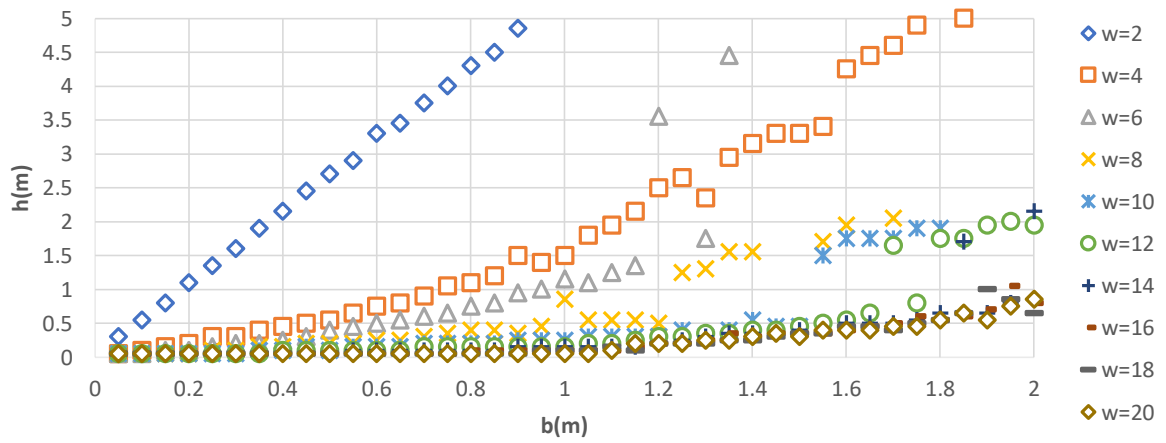
Curva de Volteo (MSAV-PGD=0.6 m)



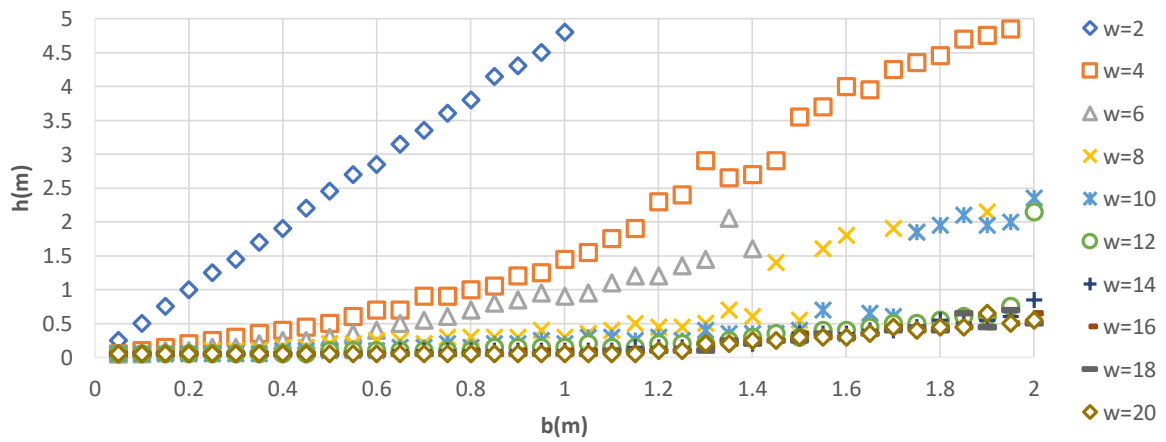
Curva de Volteo (MSAV-PGD=0.7 m)



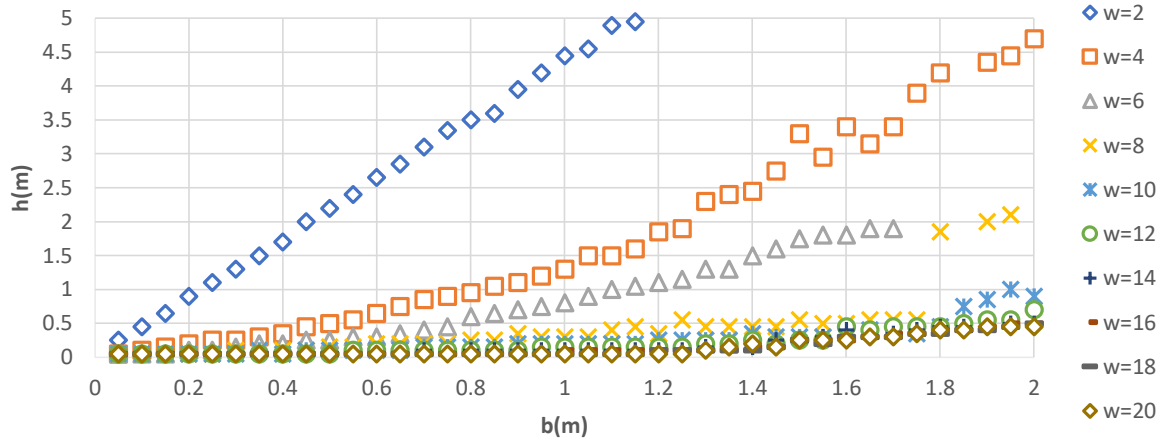
Curva de Volteo (MSAV-PGD=0.8 m)



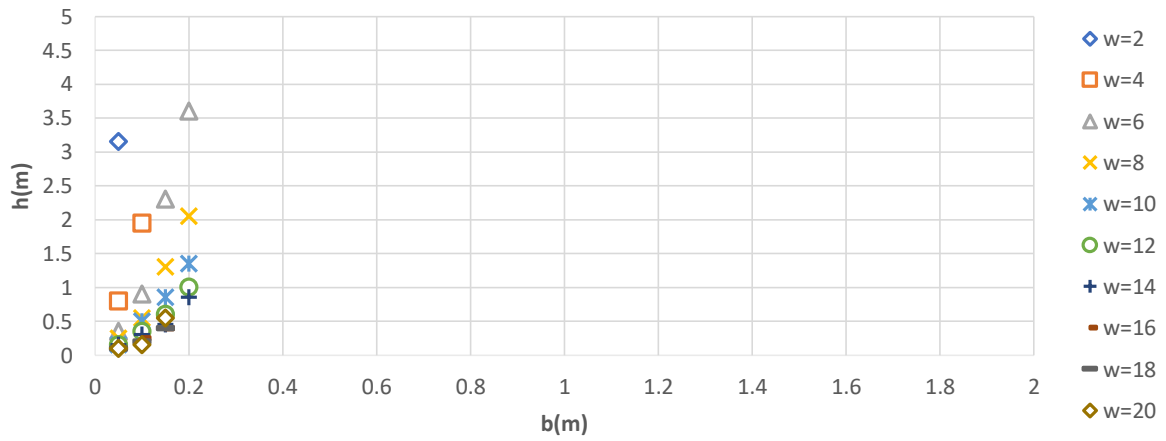
Curva de Volteo (MSAV-PGD=0.9 m)



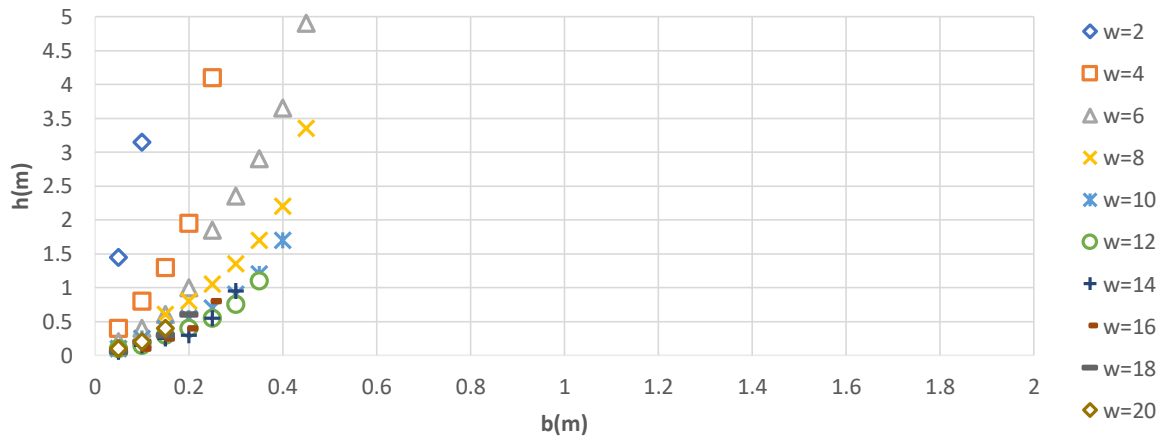
Curva de Volteo (MSAV-PGD=1 m)



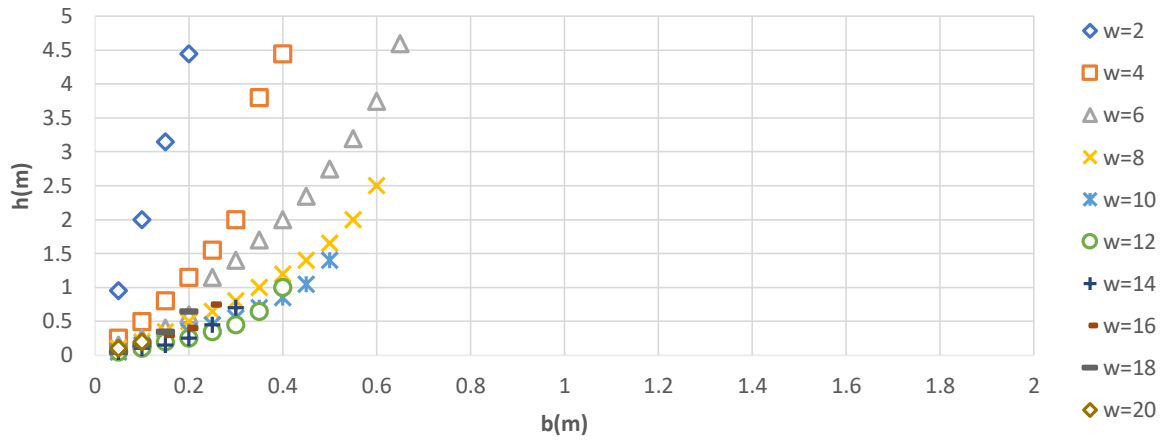
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGD=0.1 m)



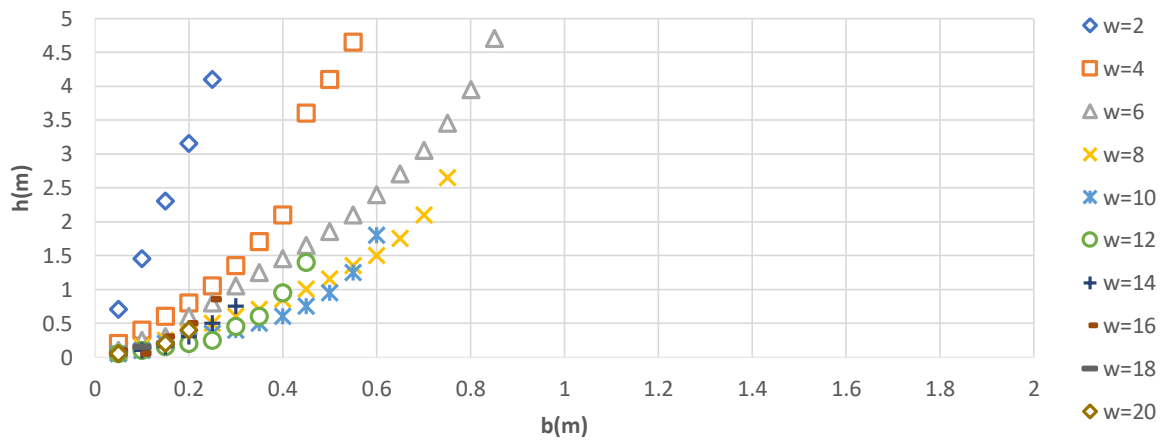
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGD=0.2 m)



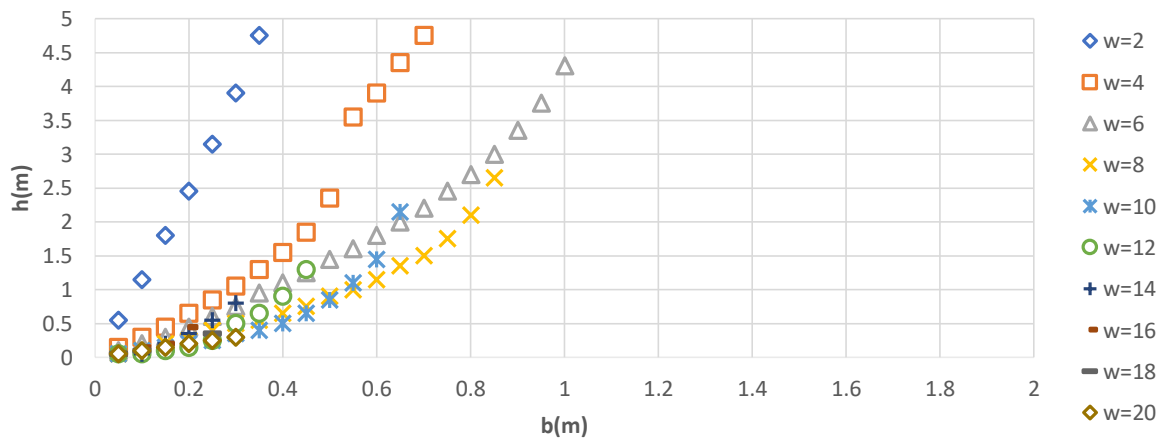
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGD=0.3 m)



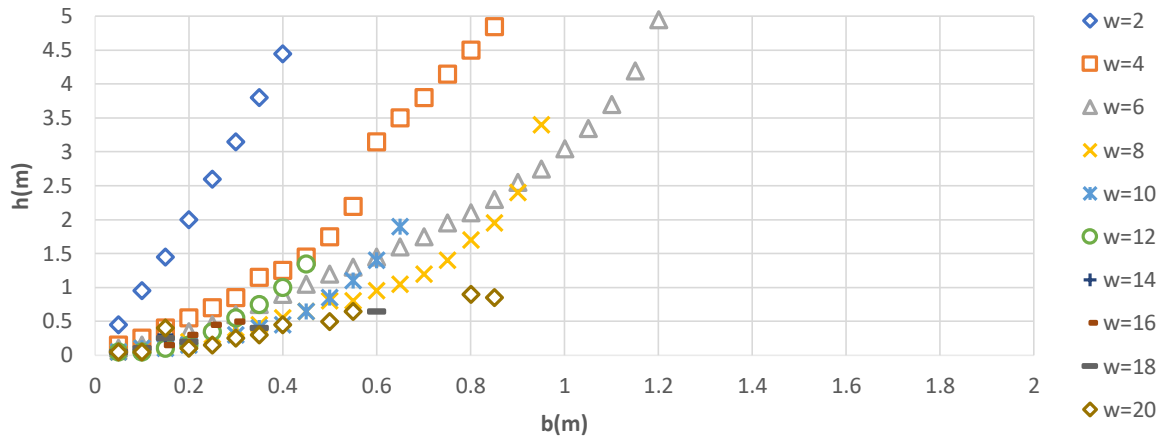
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGD=0.4 m)



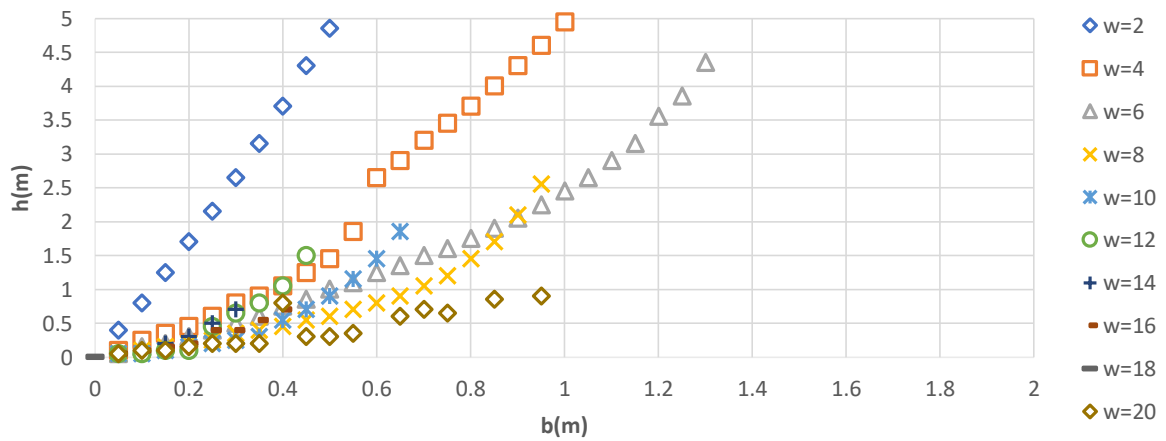
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGD=0.5 m)



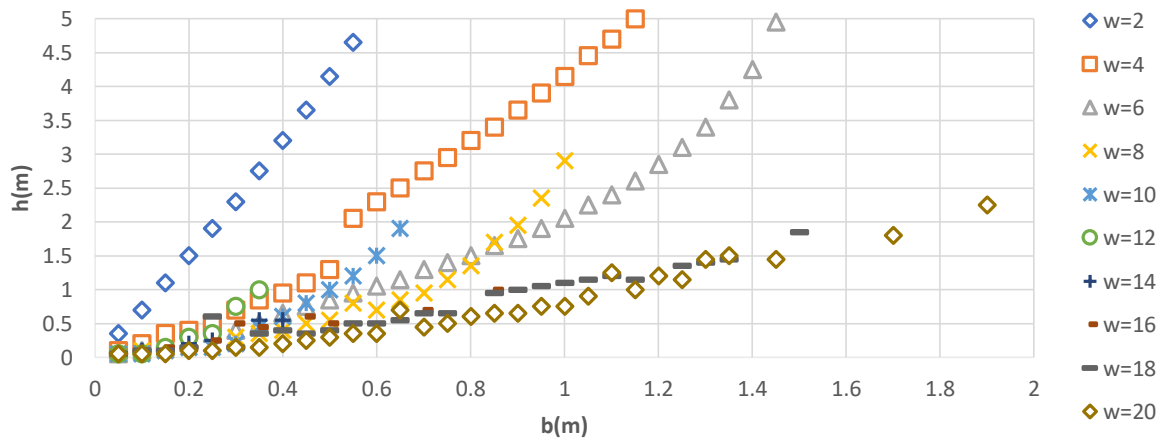
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGD=0.6 m)



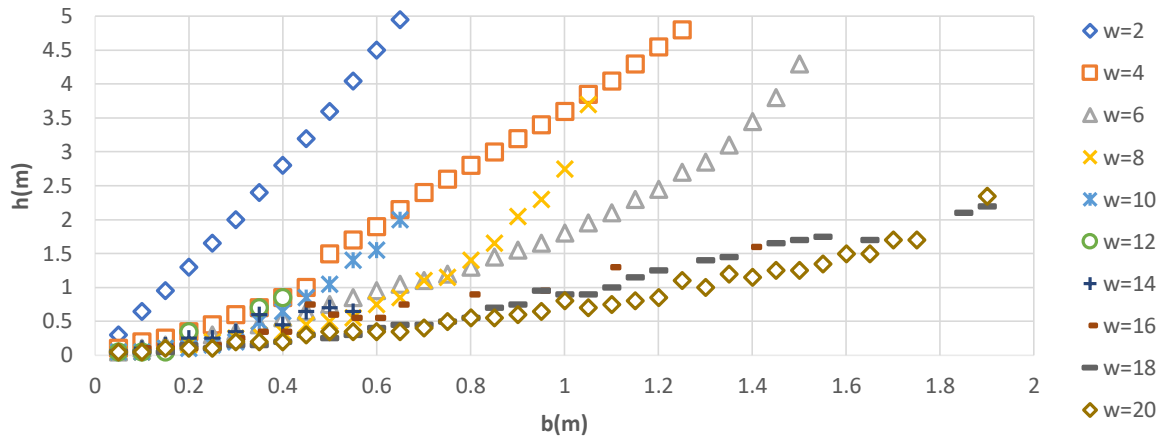
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGD=0.7 m)



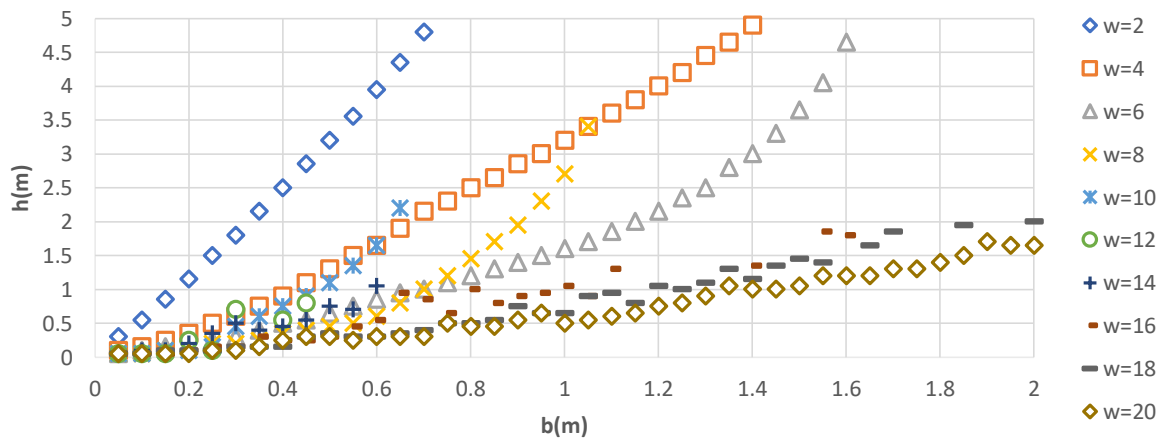
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGD=0.8 m)



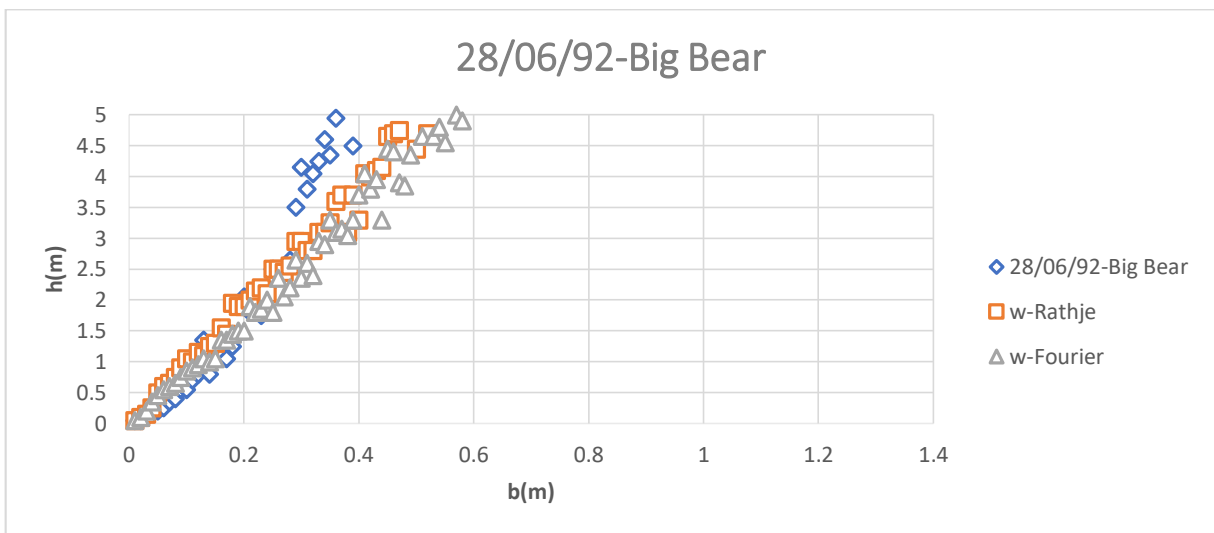
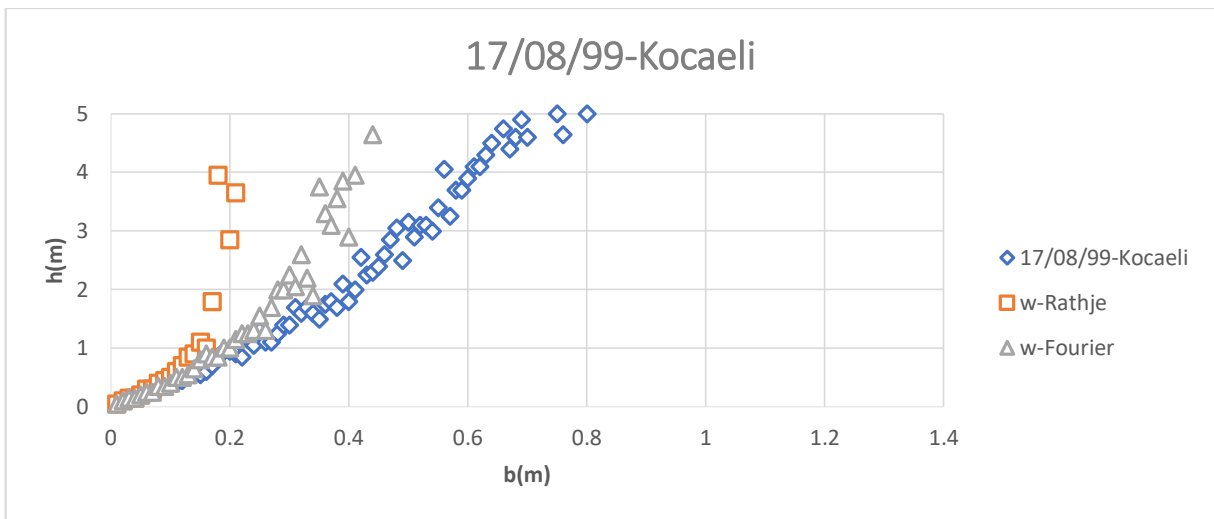
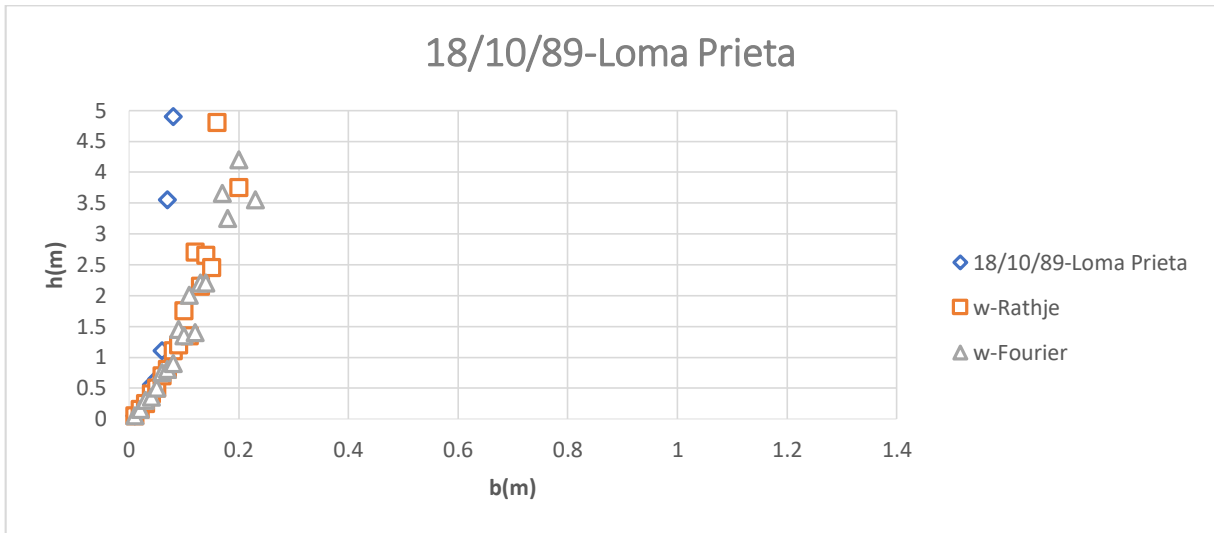
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGD=0.9 m)

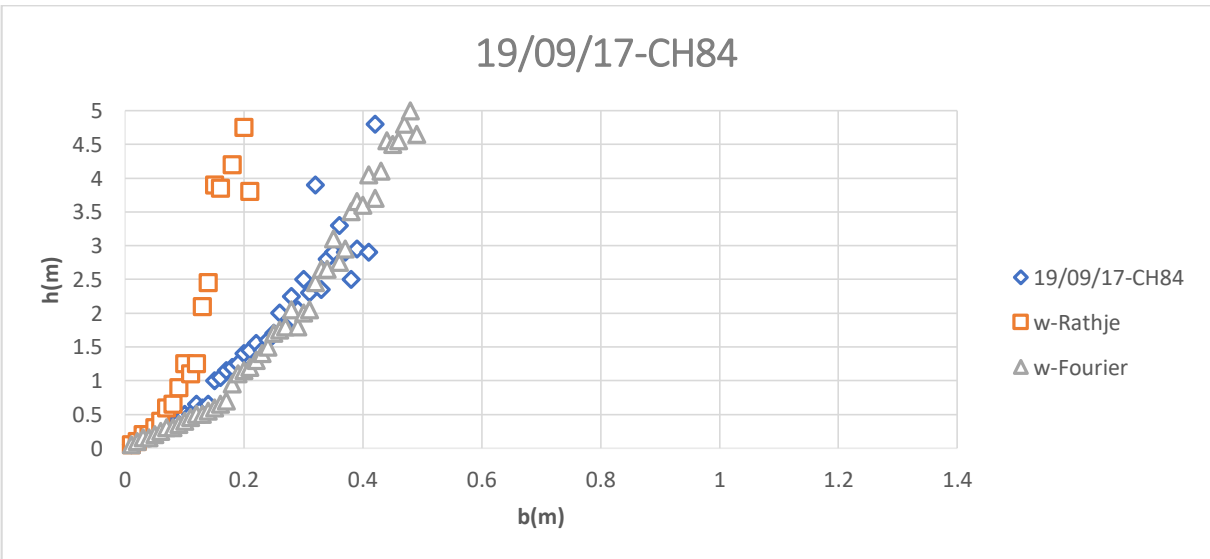
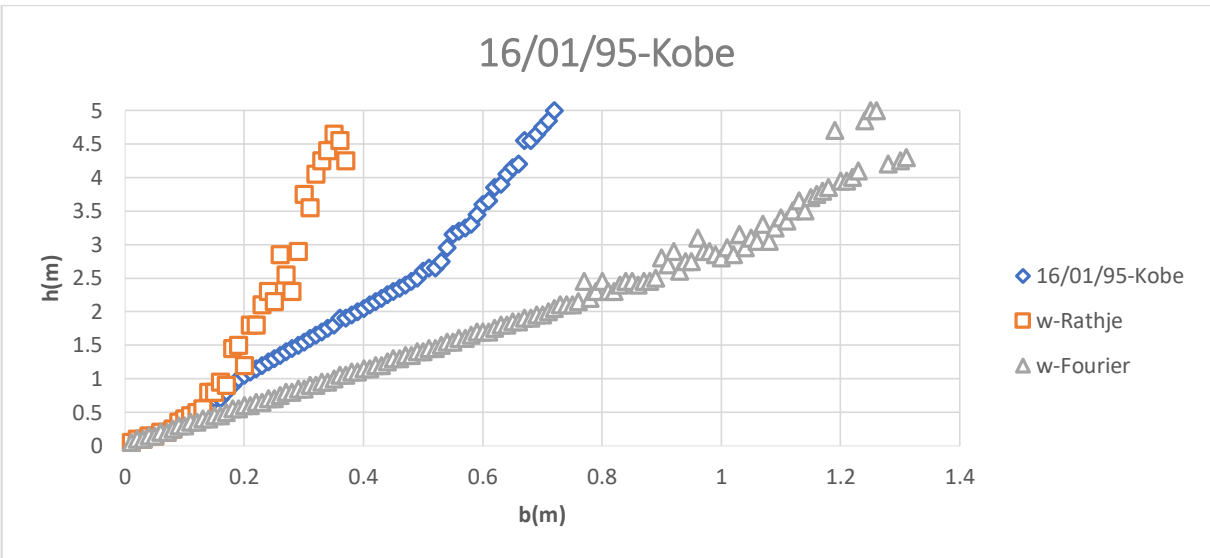
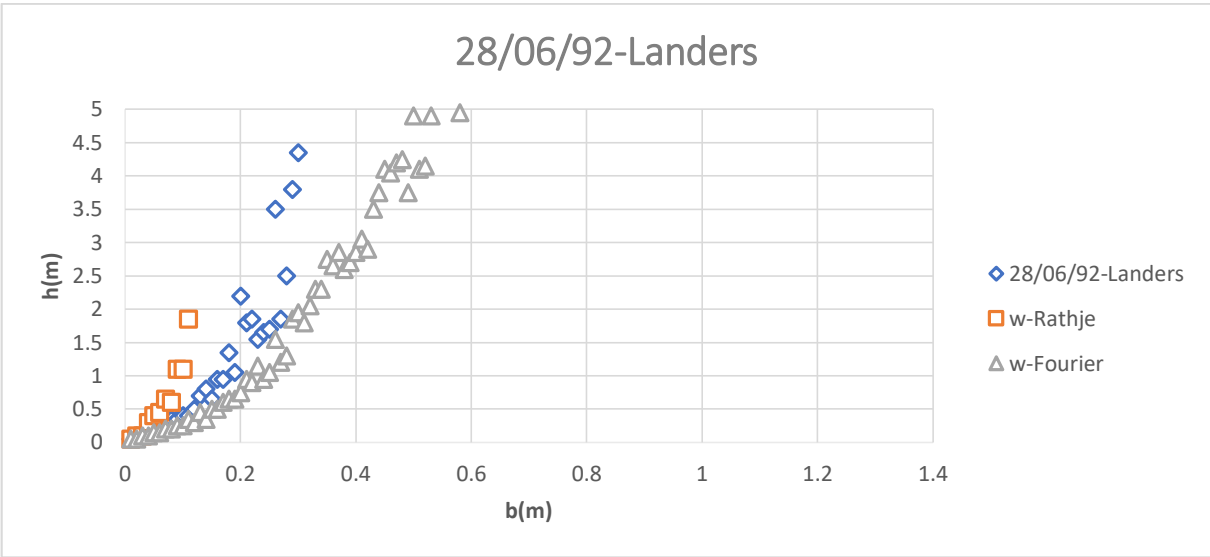


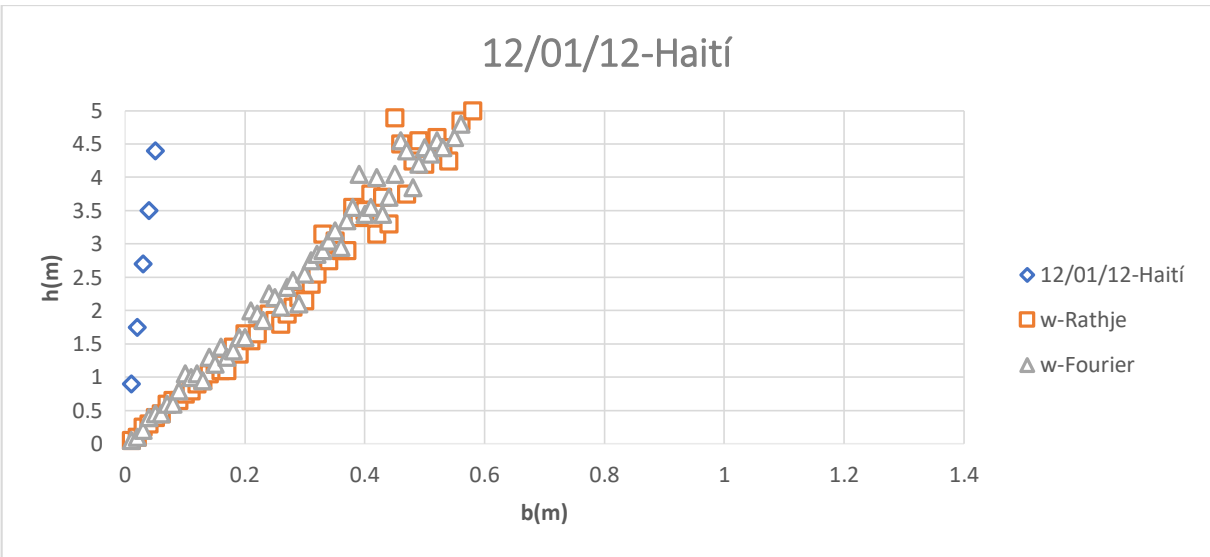
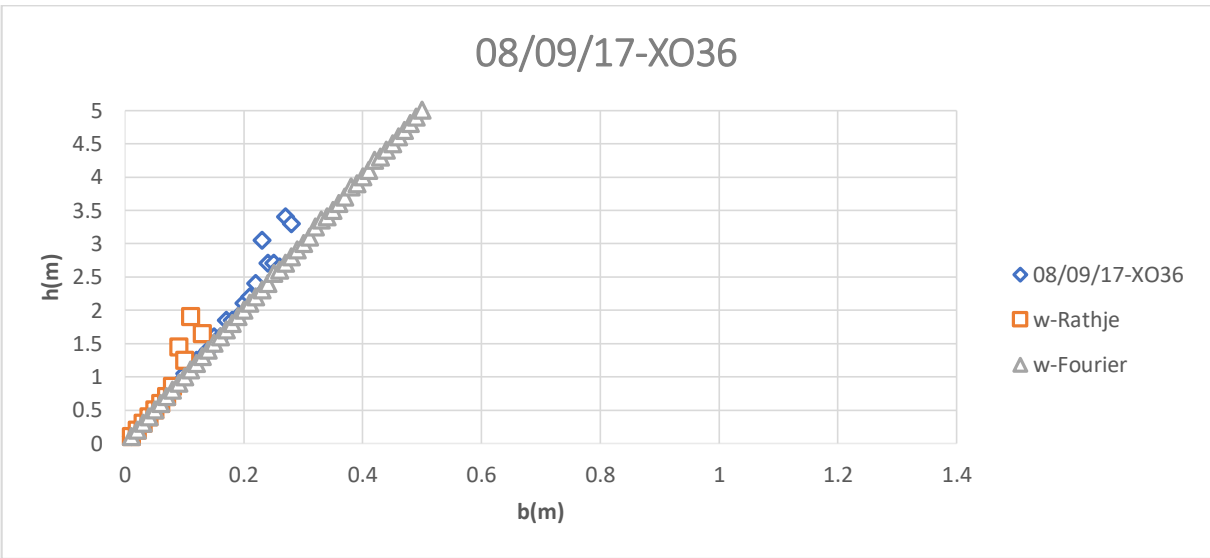
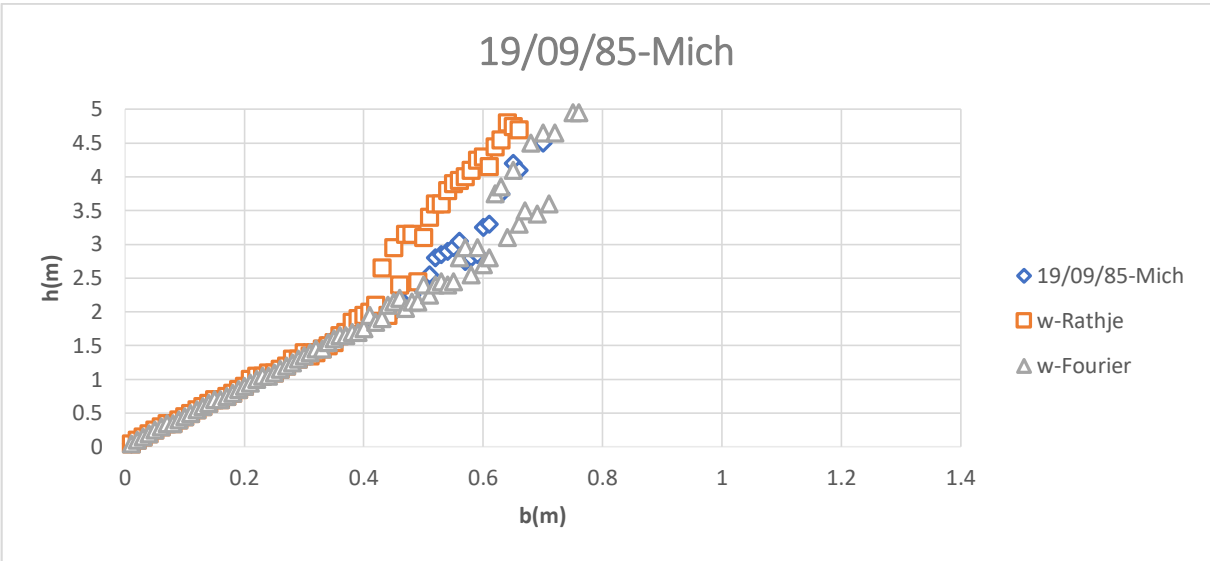
Curva de Volteo (Pulso de Ricker-PGD=1 m)

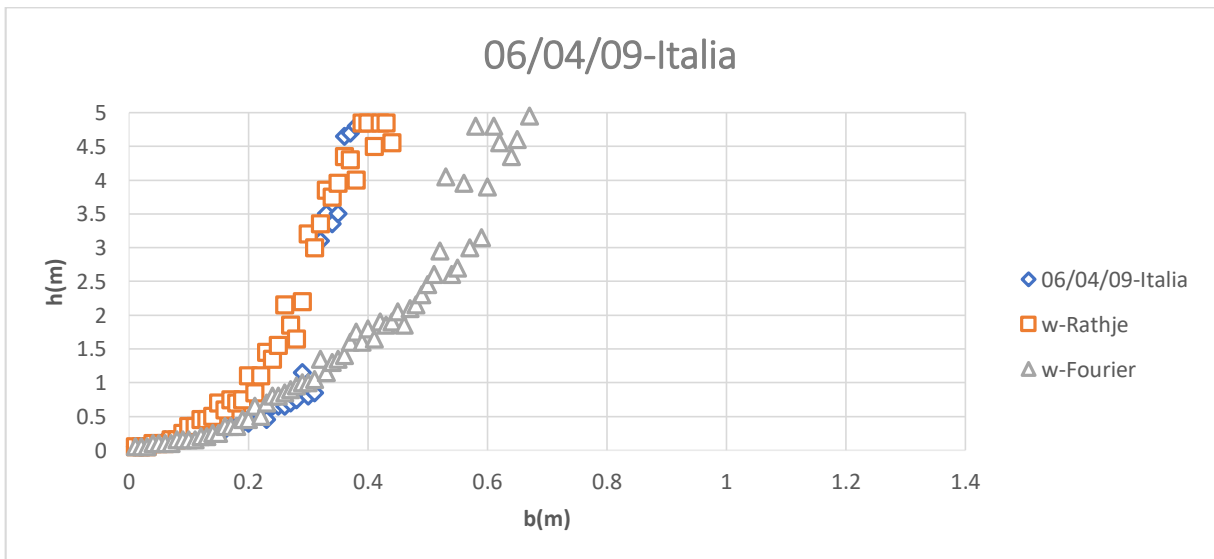
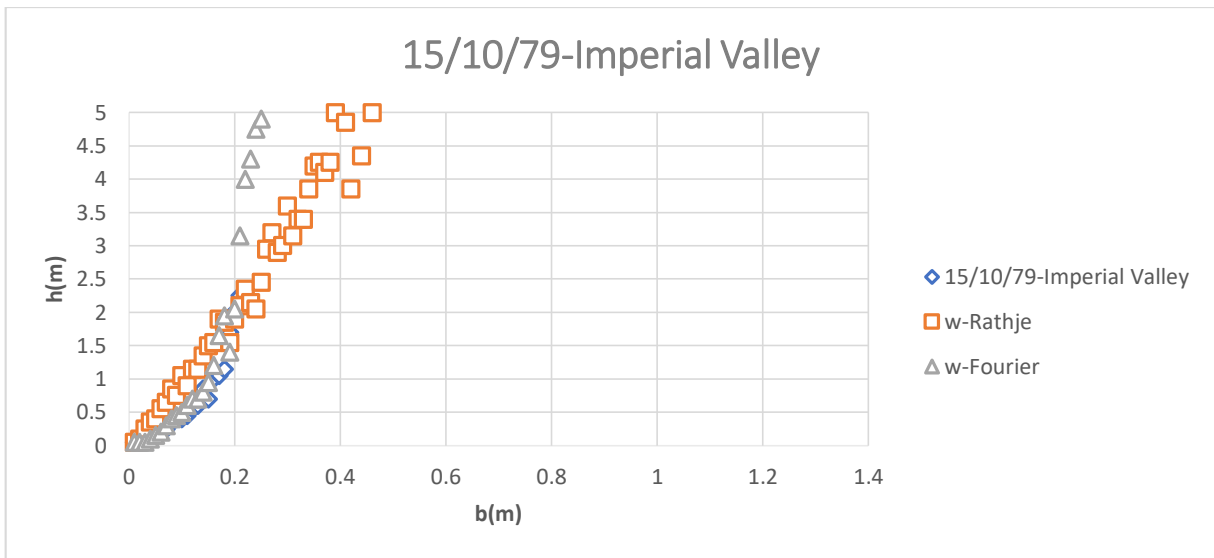
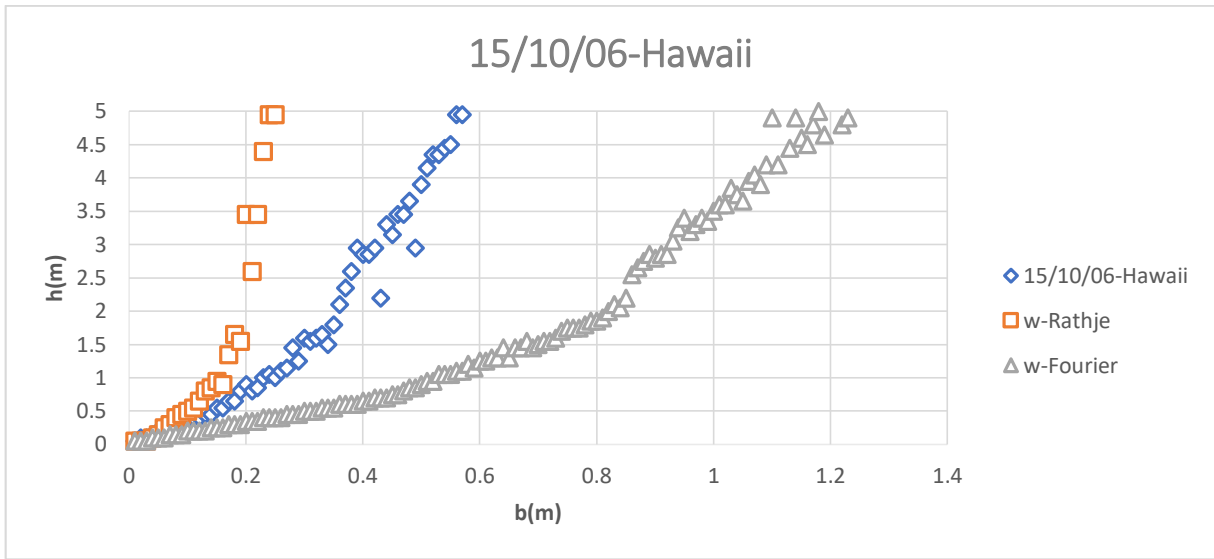


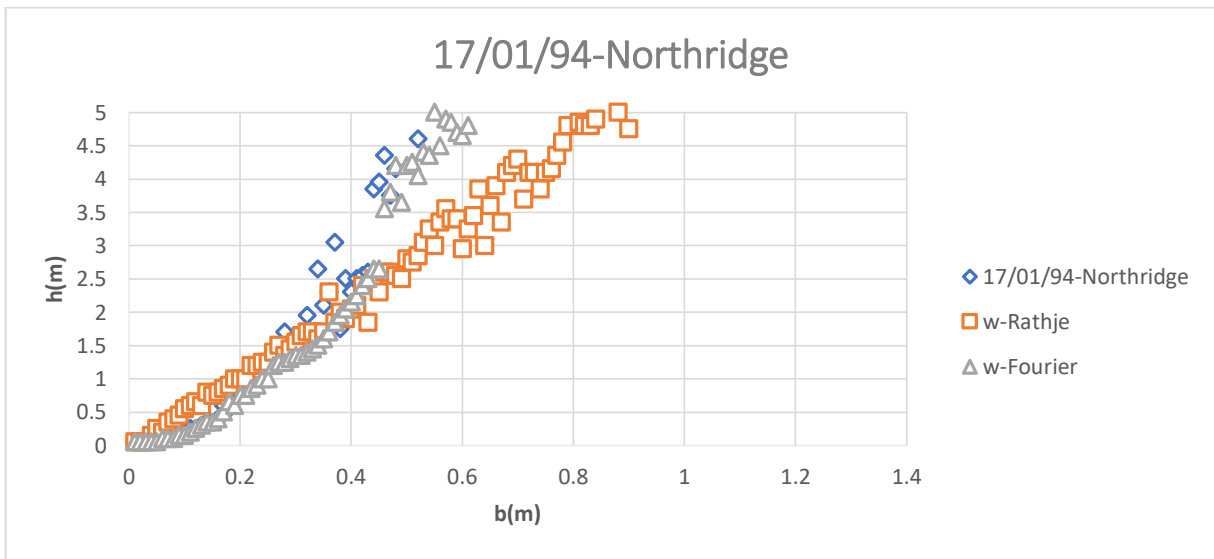
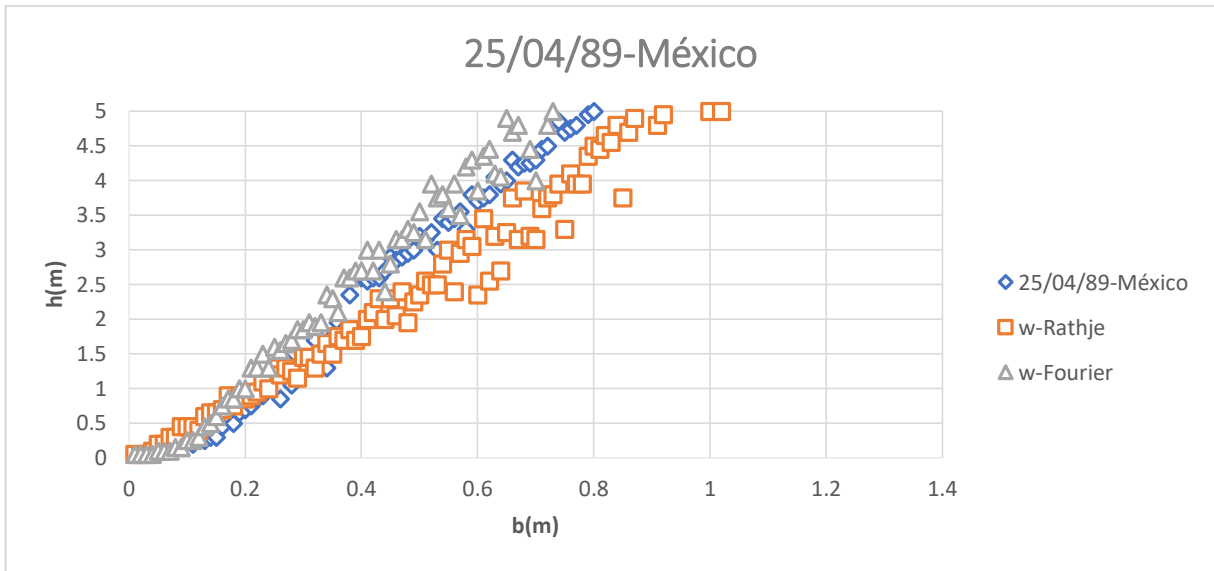
ANEXO 4



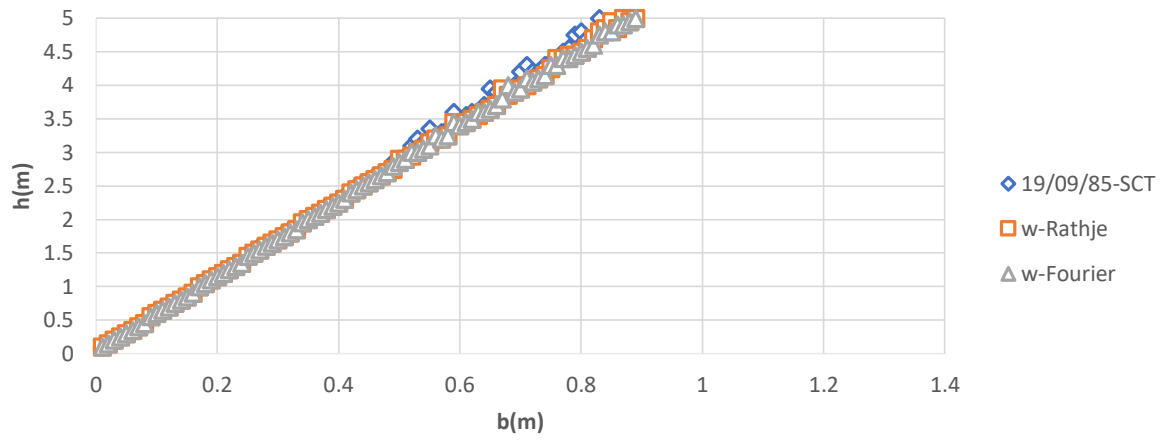






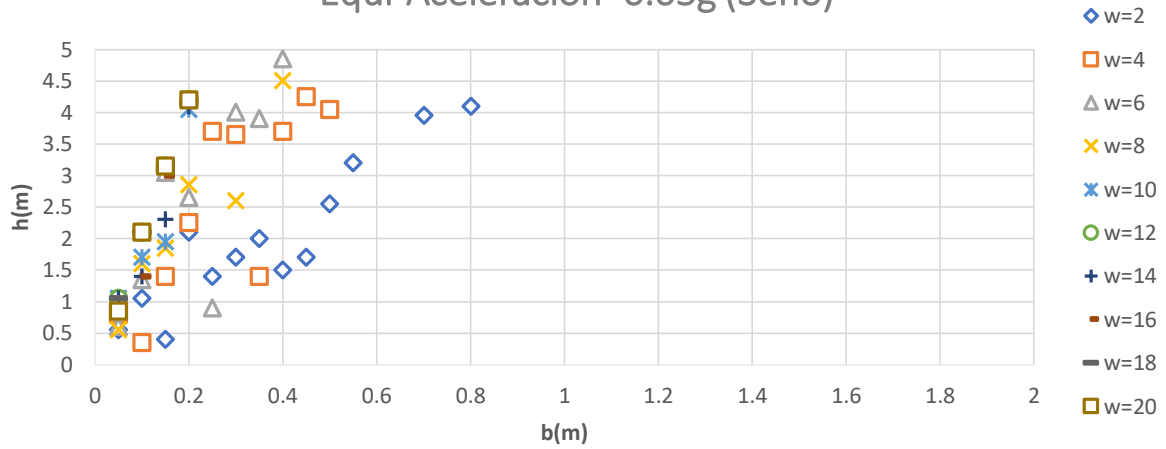


19/09/85-SCT

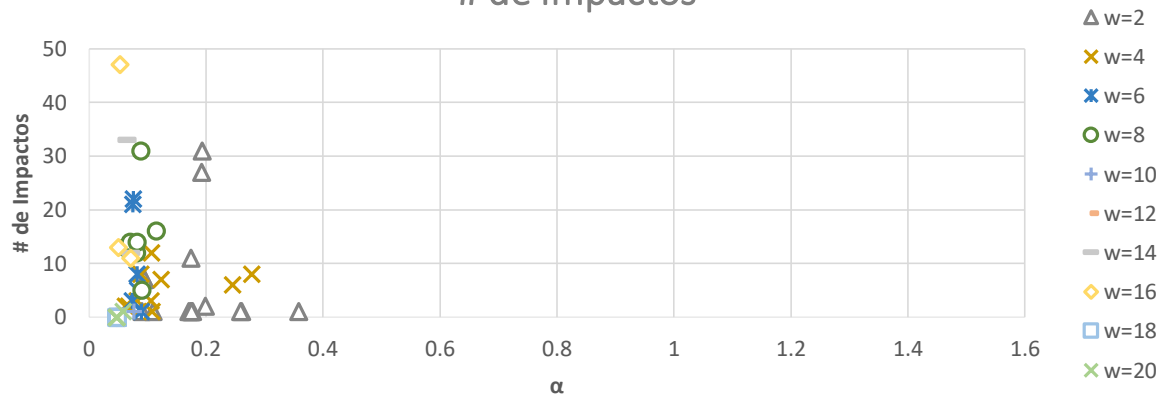


ANEXO 5

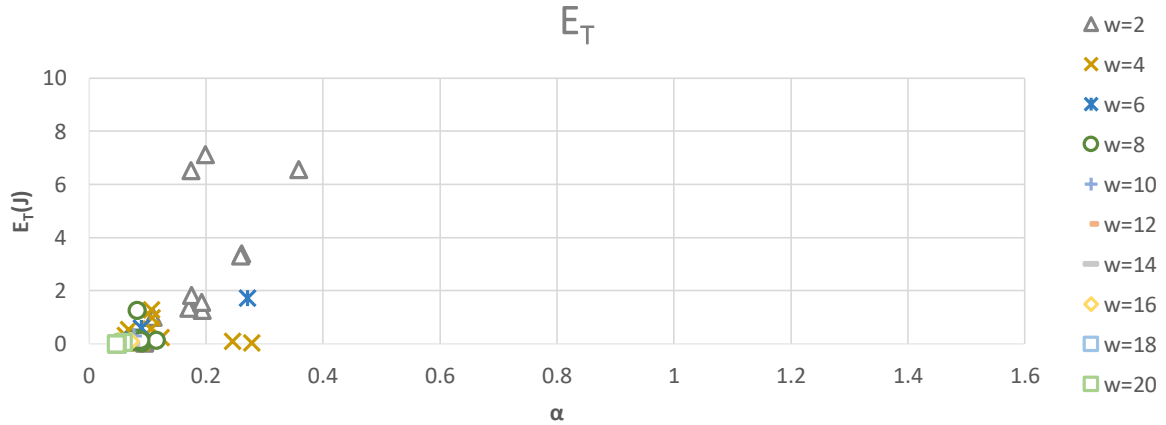
Equi-Aceleración=0.05g (Seno)



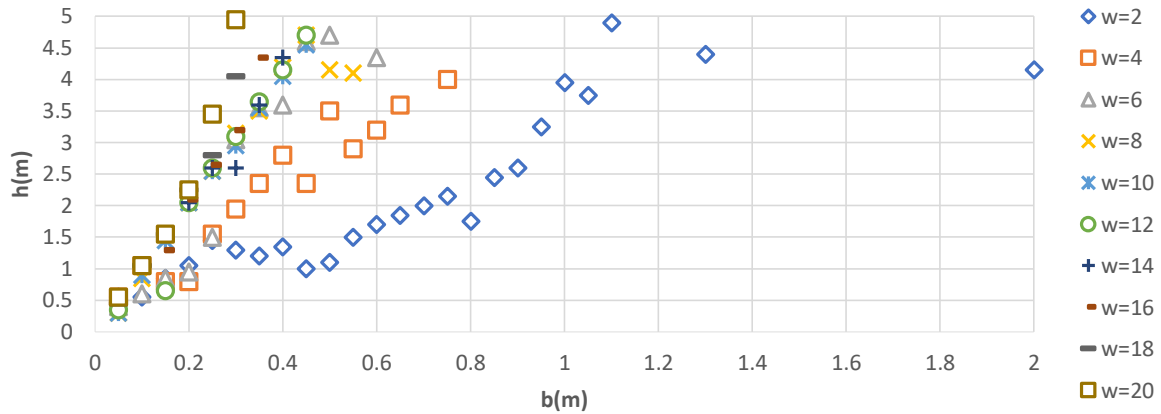
Equi-Aceleración=0.05g (Seno) # de Impactos



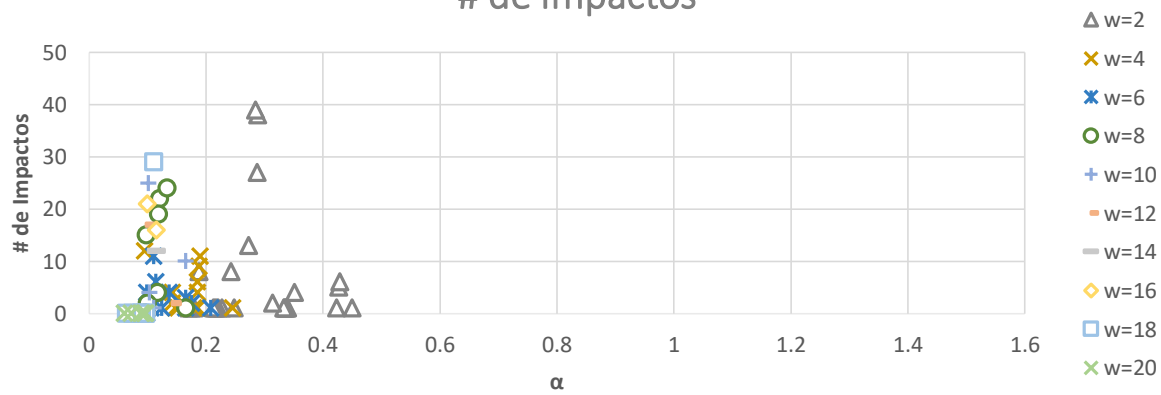
Equi-Aceleración=0.05g (Seno) E_T



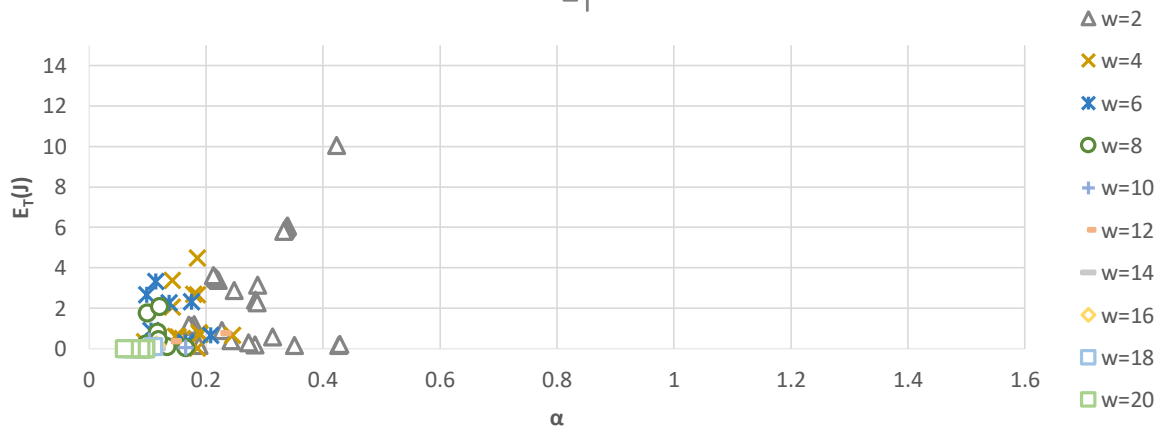
Equi-Aceleración=0.1g (Seno)

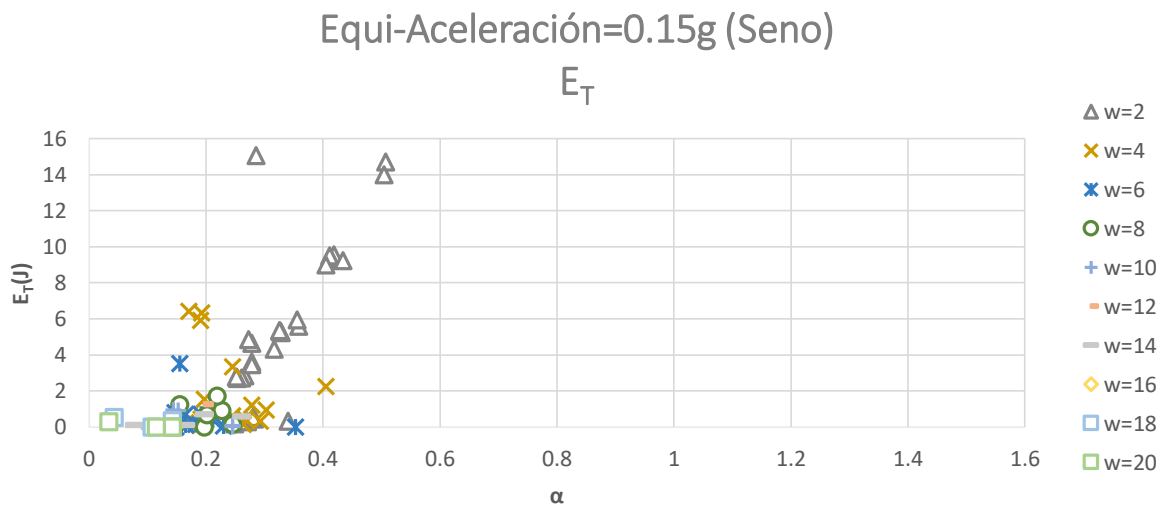
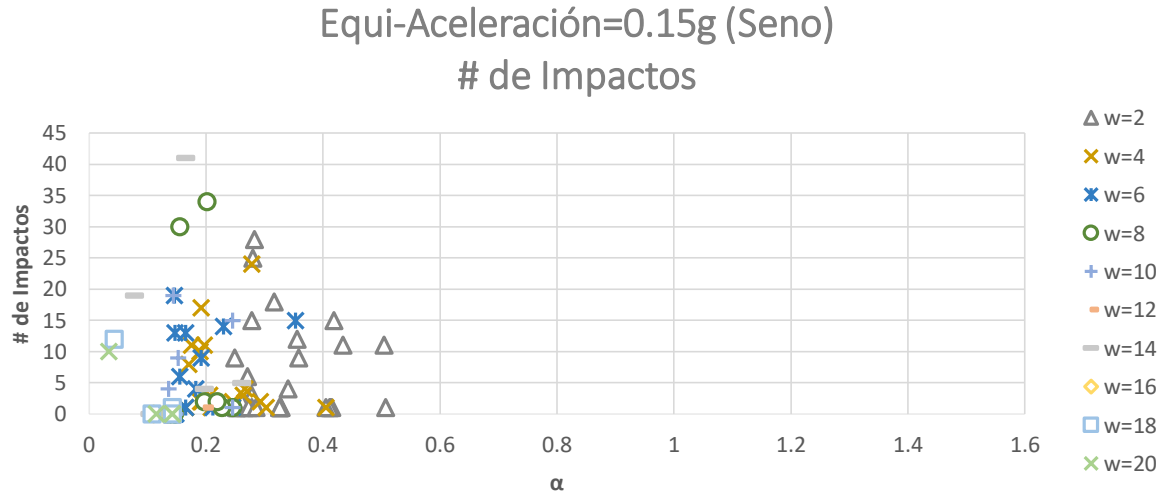
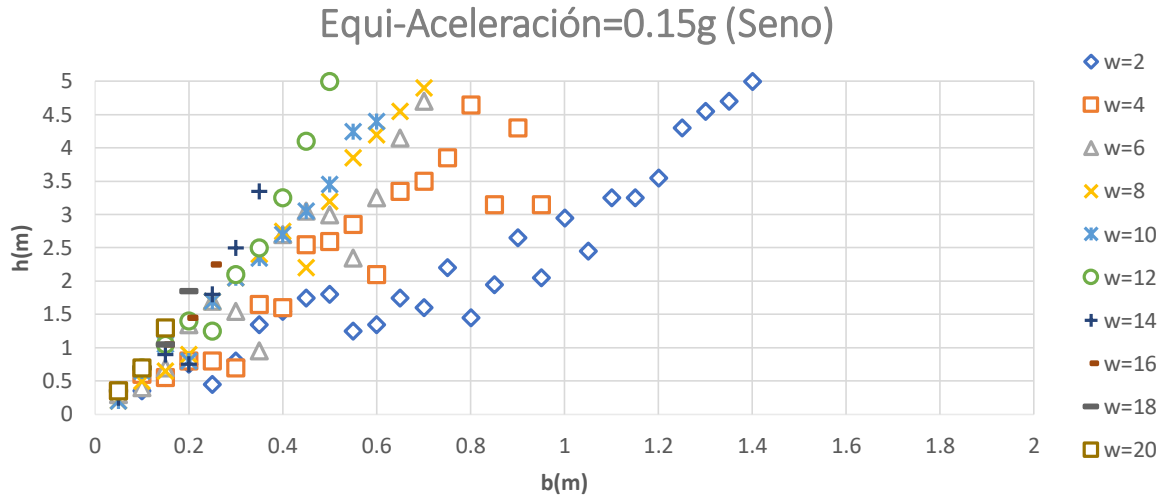


Equi-Aceleración=0.1g (Seno)
de Impactos

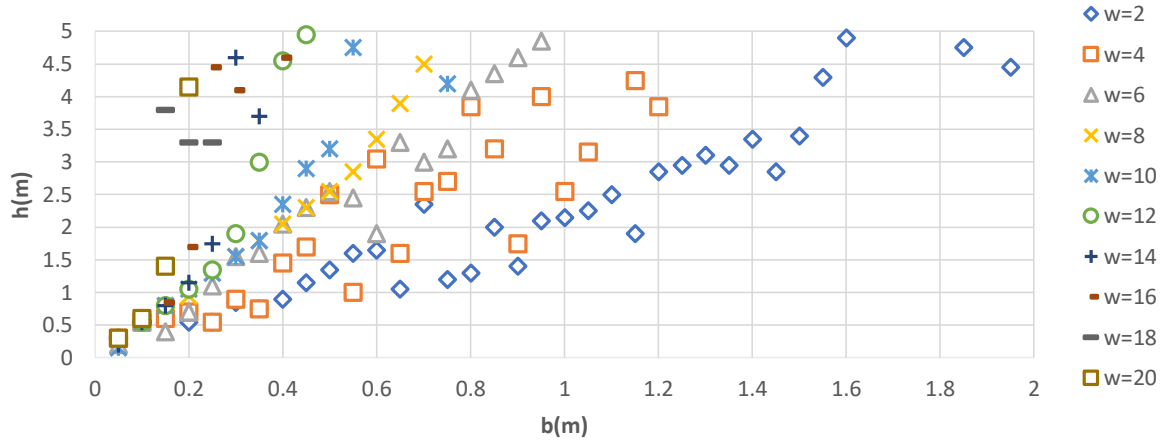


Equi-Aceleración=0.1g (Seno)
 E_T

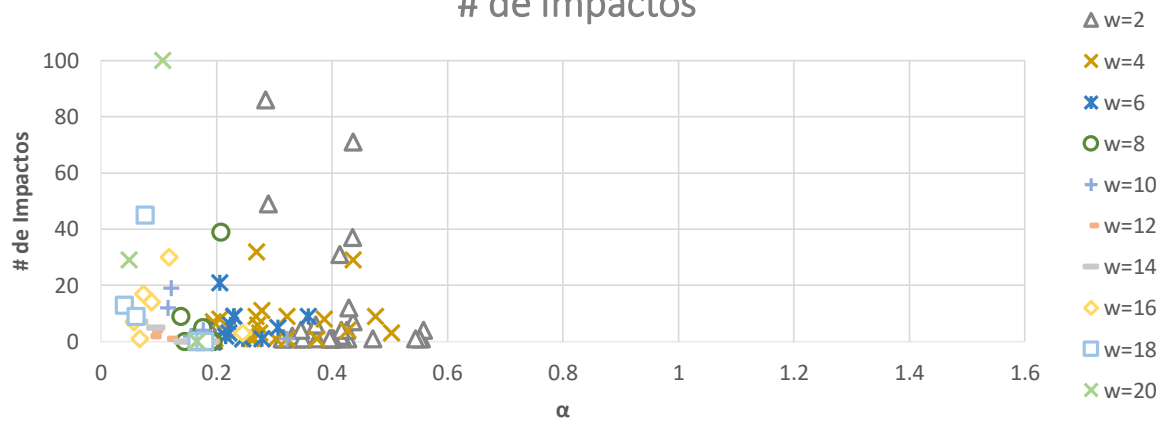




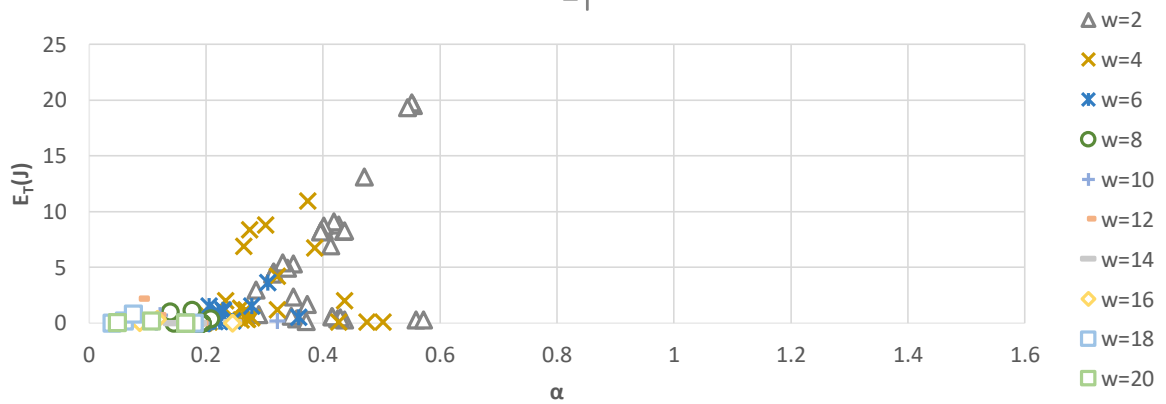
Equi-Aceleración=0.2g (Seno)



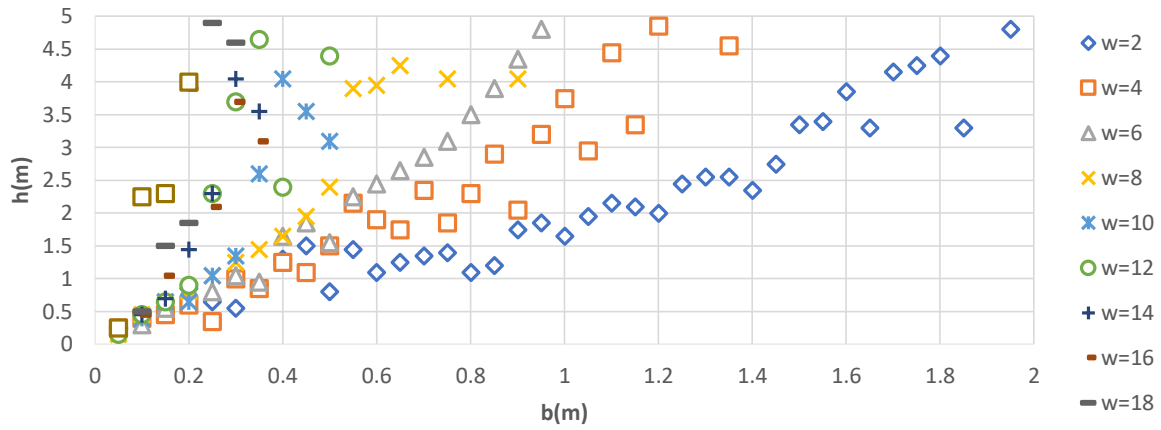
Equi-Aceleración=0.2g (Seno)
de Impactos



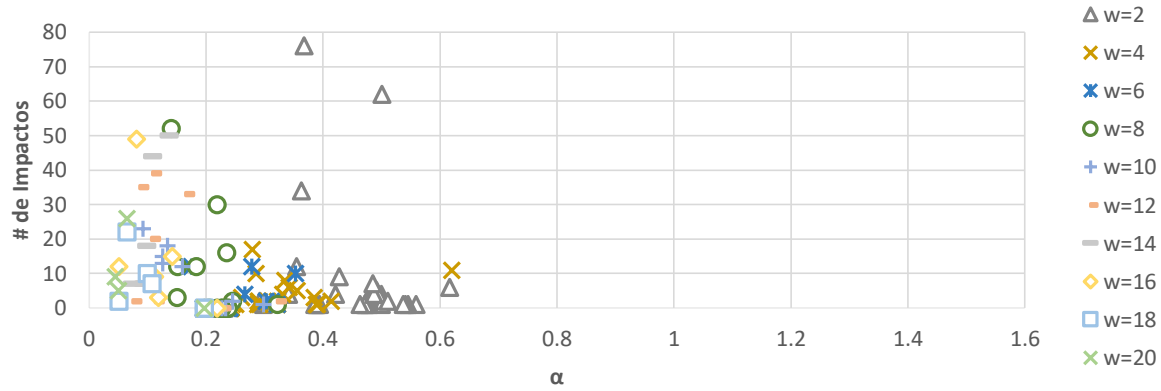
Equi-Aceleración=0.2g (Seno)
 E_T



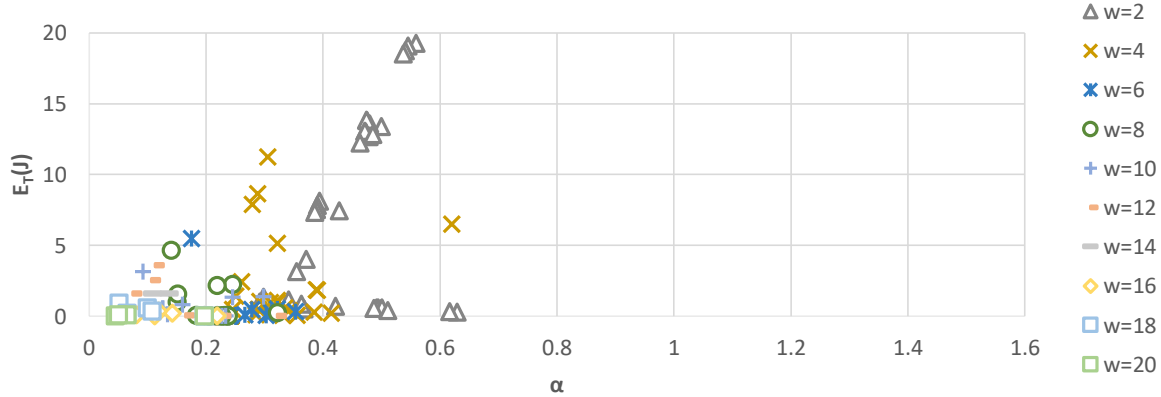
Equi-Aceleración=0.25g (Seno)



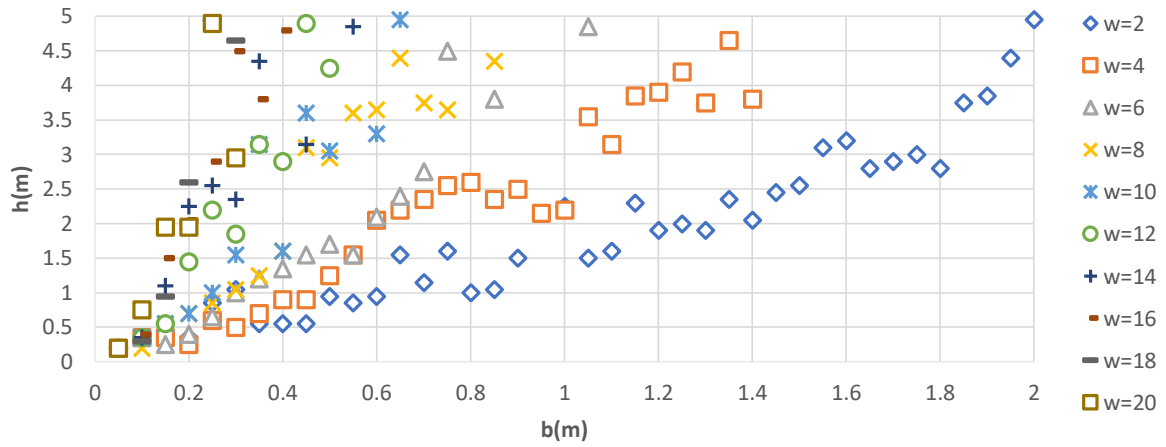
Equi-Aceleración=0.25g (Seno)
de Impactos



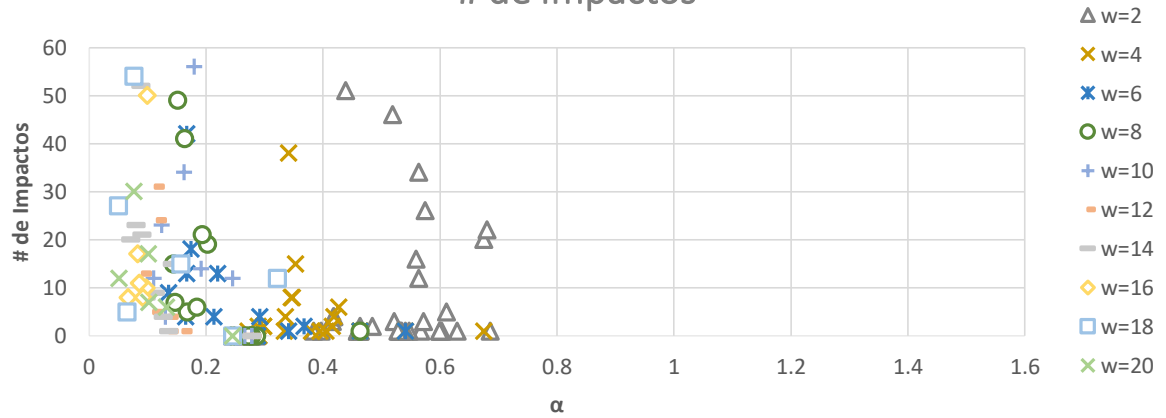
Equi-Aceleración=0.25g (Seno)
 E_T



Equi-Aceleración=0.3g (Seno)

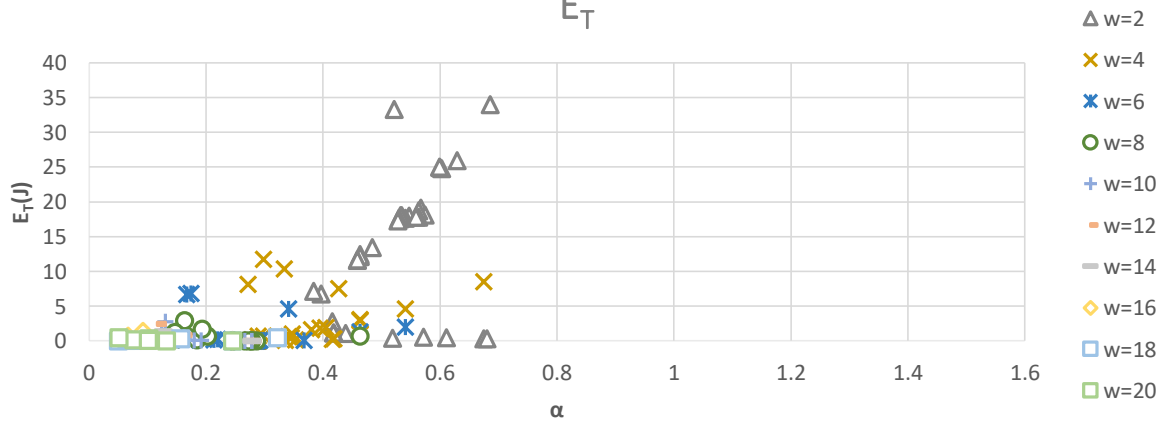


Equi-Aceleración=0.3g (Seno)
de Impactos

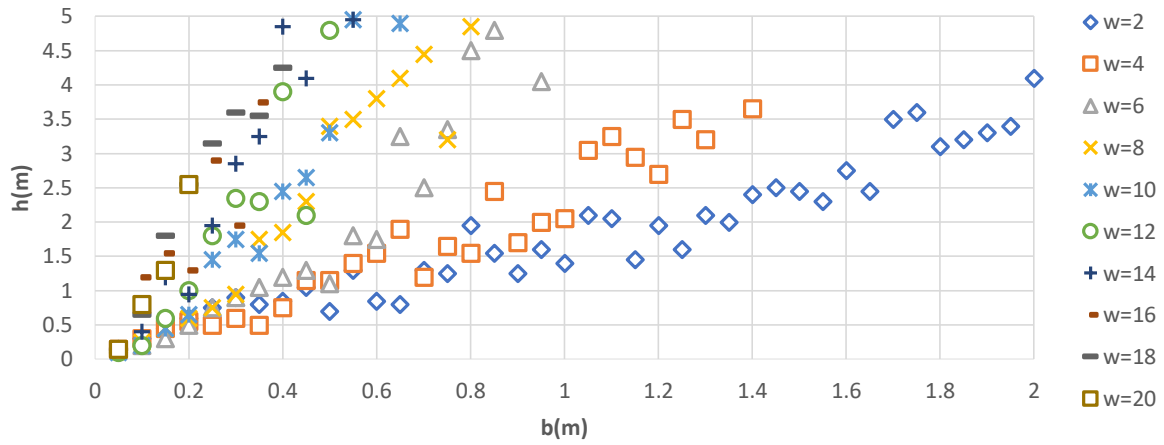


Equi-Aceleración=0.3g (Seno)

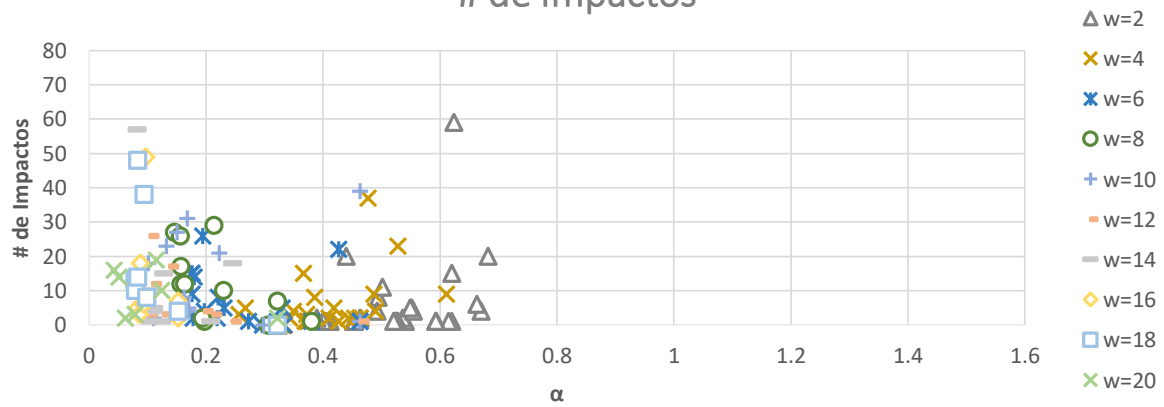
E_T



Equi-Aceleración=0.35g (Seno)

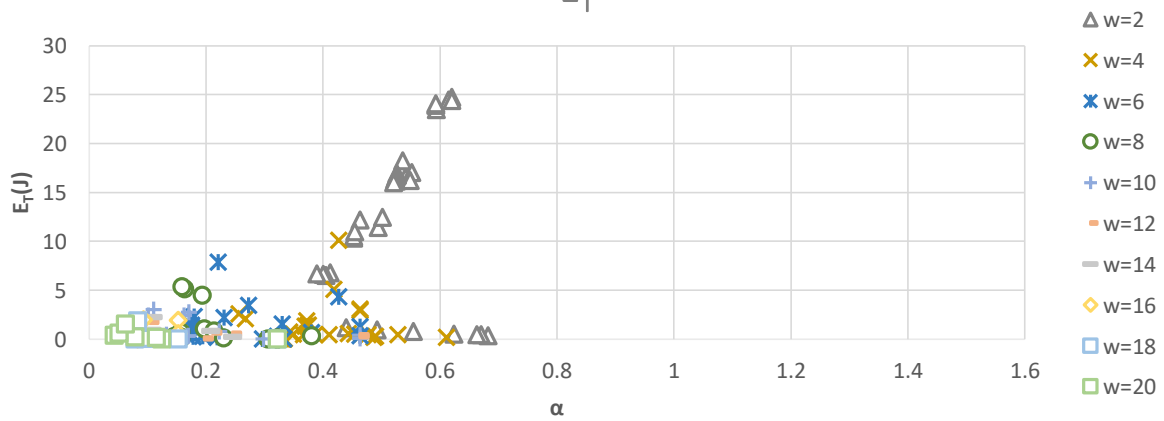


Equi-Aceleración=0.35g (Seno)
de Impactos

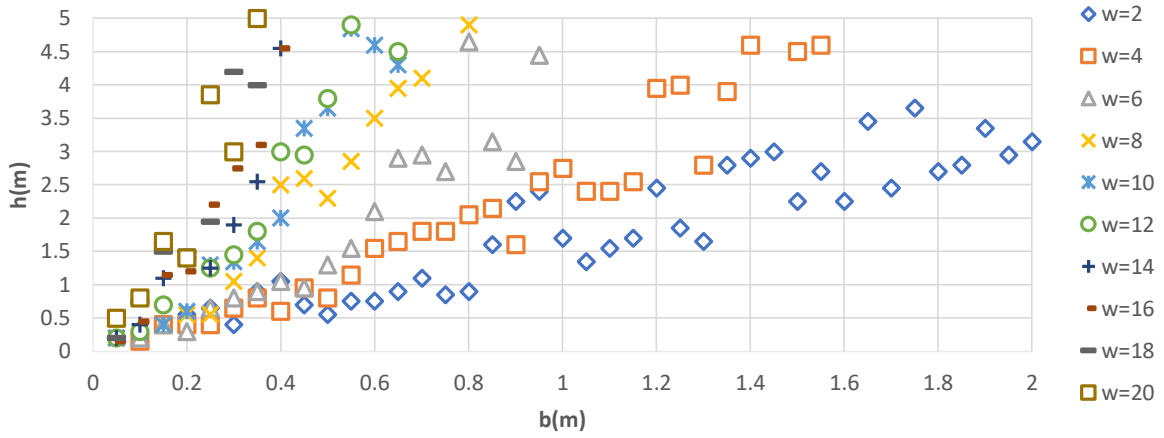


Equi-Aceleración=0.35g (Seno)

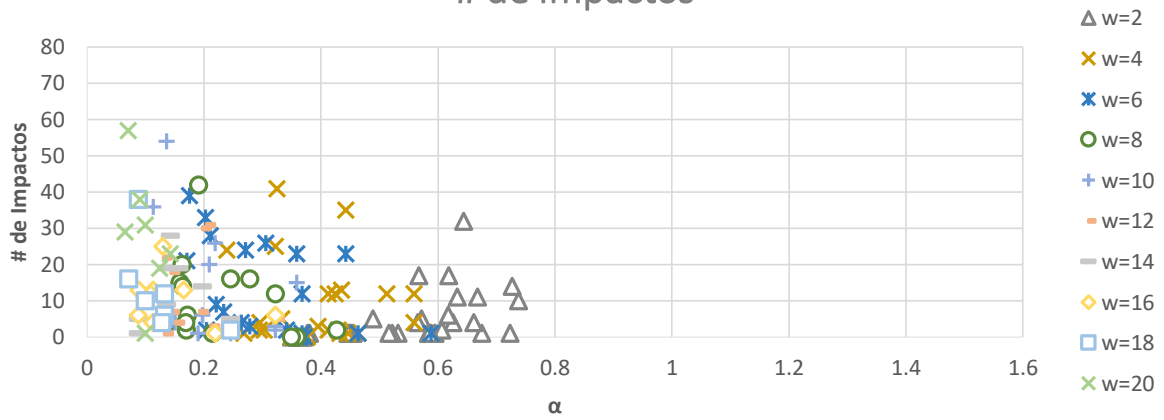
E_T



Equi-Aceleración=0.4g (Seno)

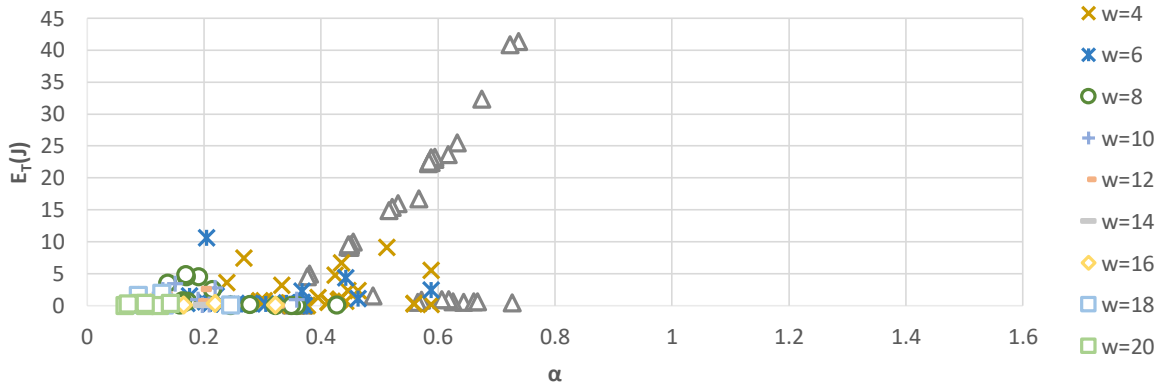


Equi-Aceleración=0.4g (Seno)
de Impactos

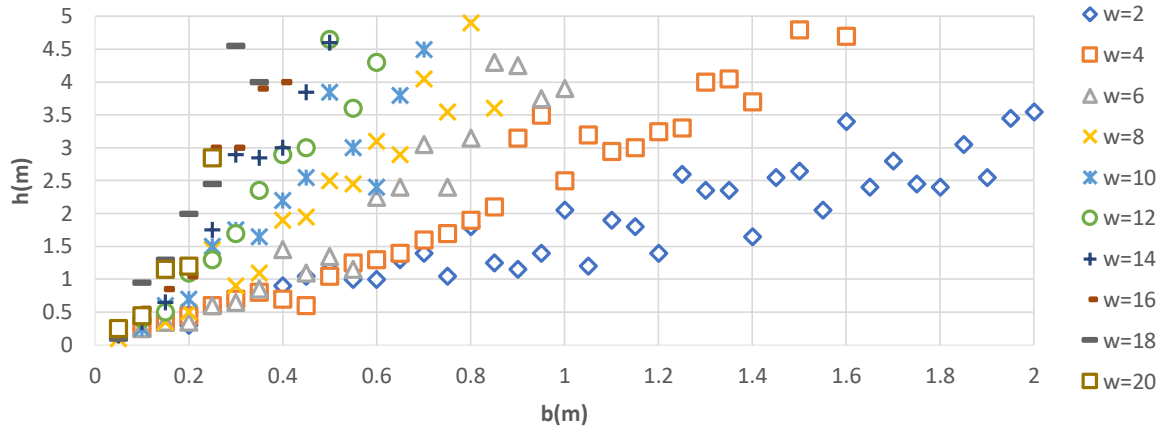


Equi-Aceleración=0.4g (Seno)

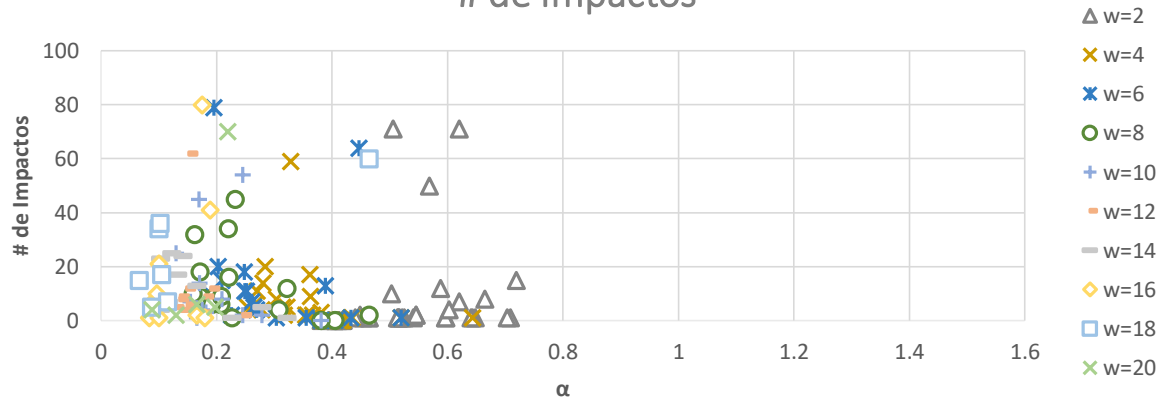
E_T



Equi-Aceleración=0.45g (Seno)

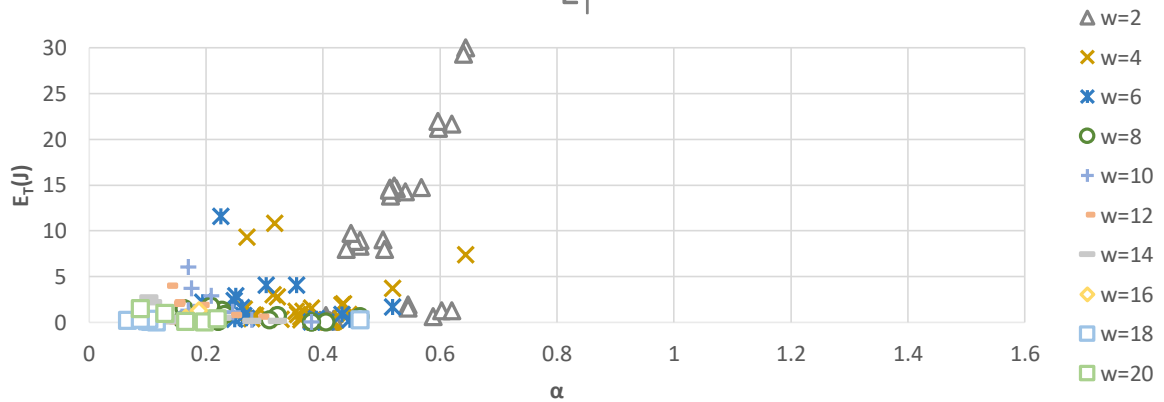


Equi-Aceleración=0.45g (Seno)
de Impactos

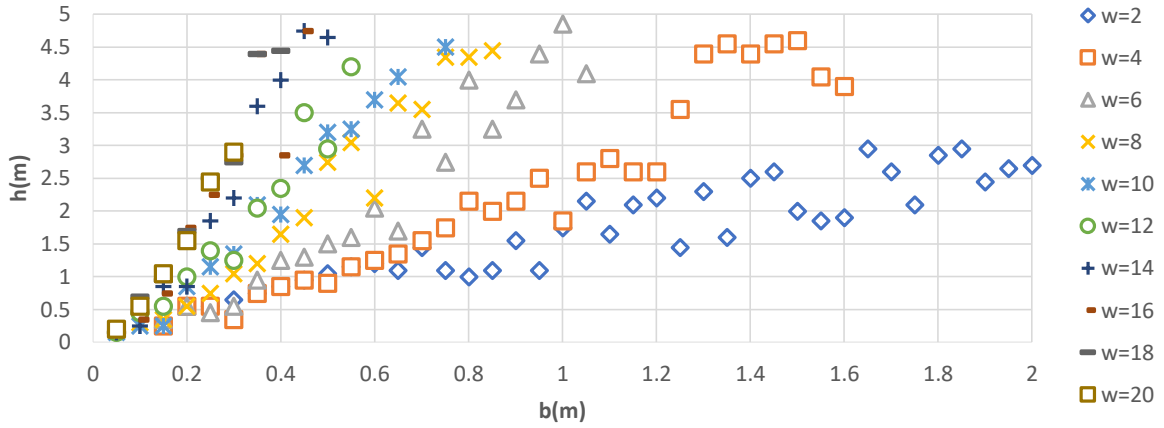


Equi-Aceleración=0.45g (Seno)

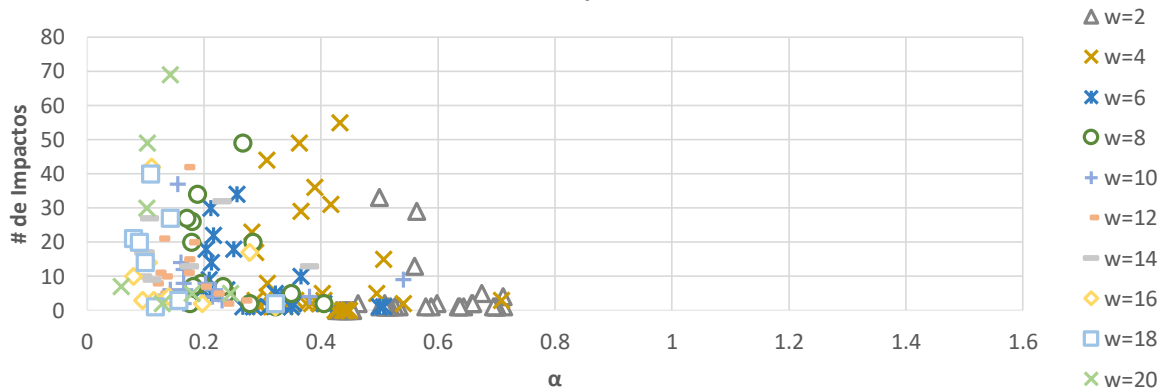
E_T



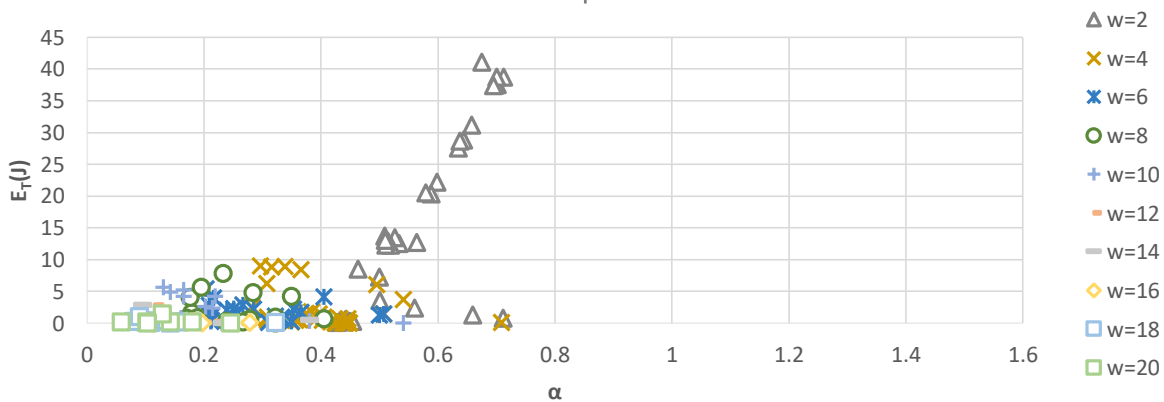
Equi-Aceleración=0.5g (Seno)



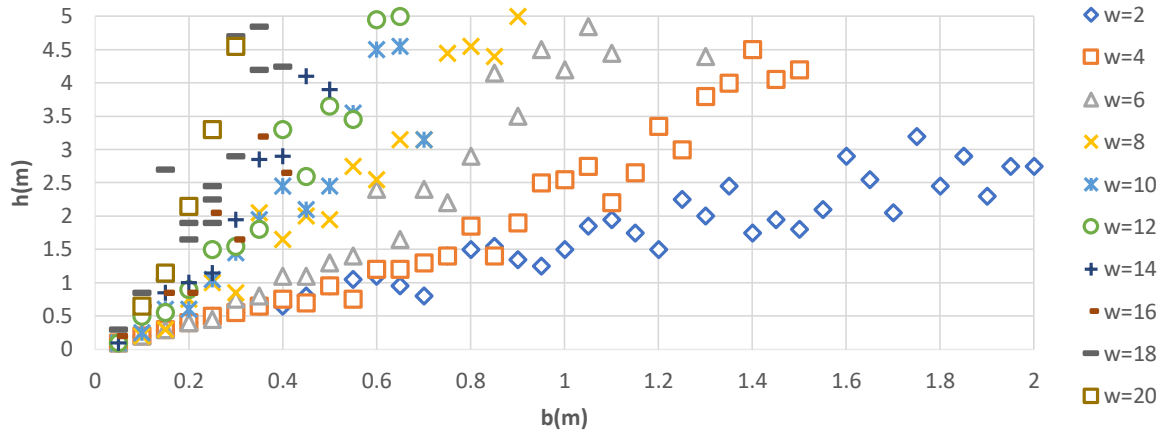
Equi-Aceleración=0.5g (Seno)
de Impactos



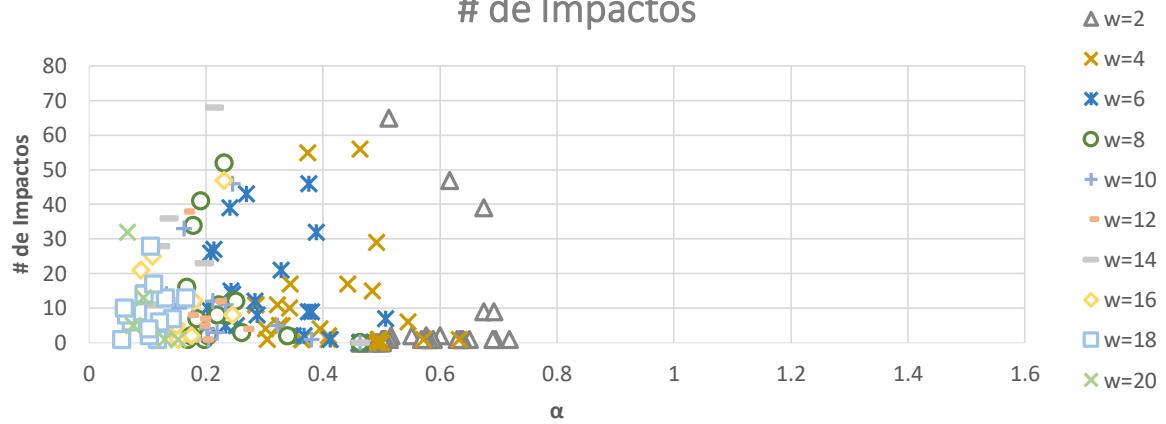
Equi-Aceleración=0.5g (Seno)
 E_T



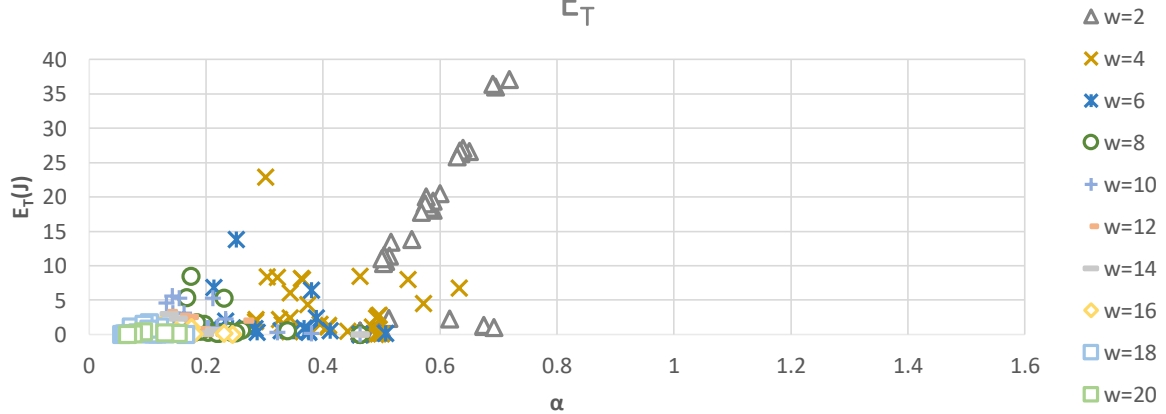
Equi-Aceleración=0.55g (Seno)



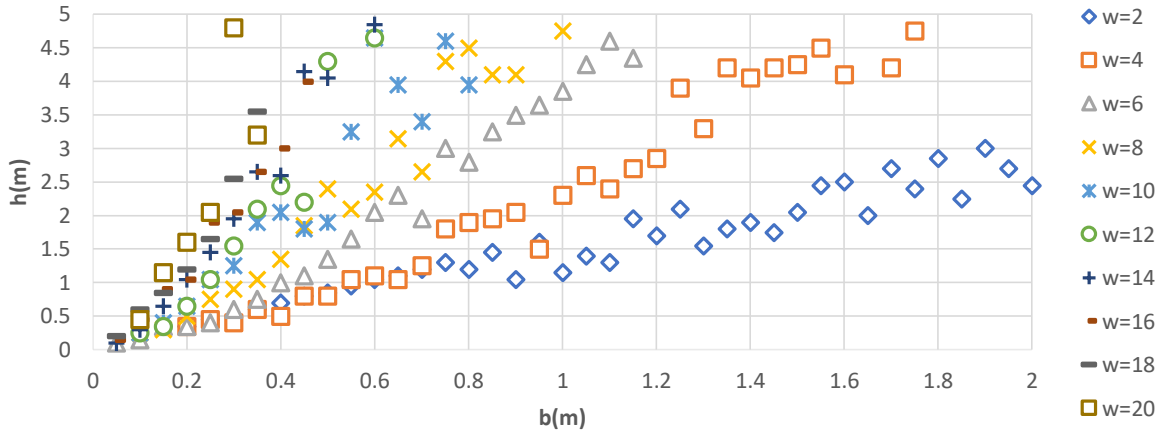
Equi-Aceleración=0.55g (Seno)
de Impactos



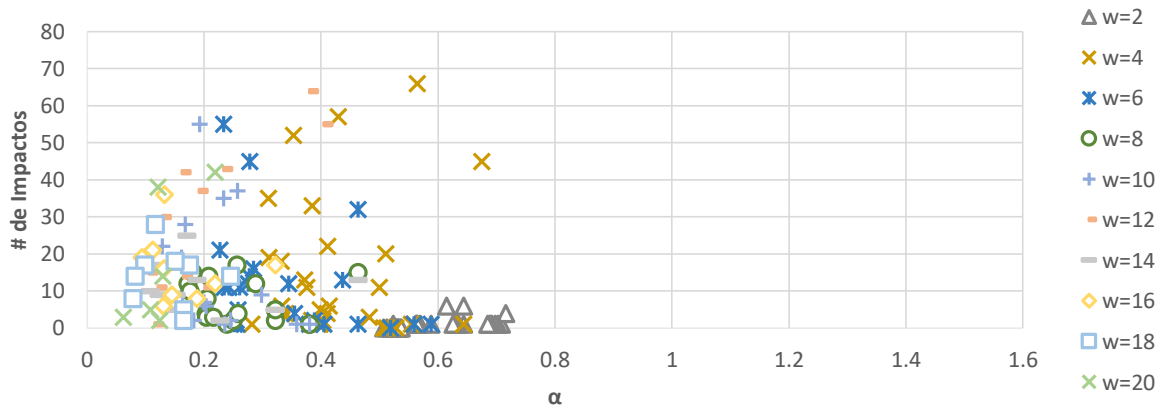
Equi-Aceleración=0.55g (Seno)
 E_T



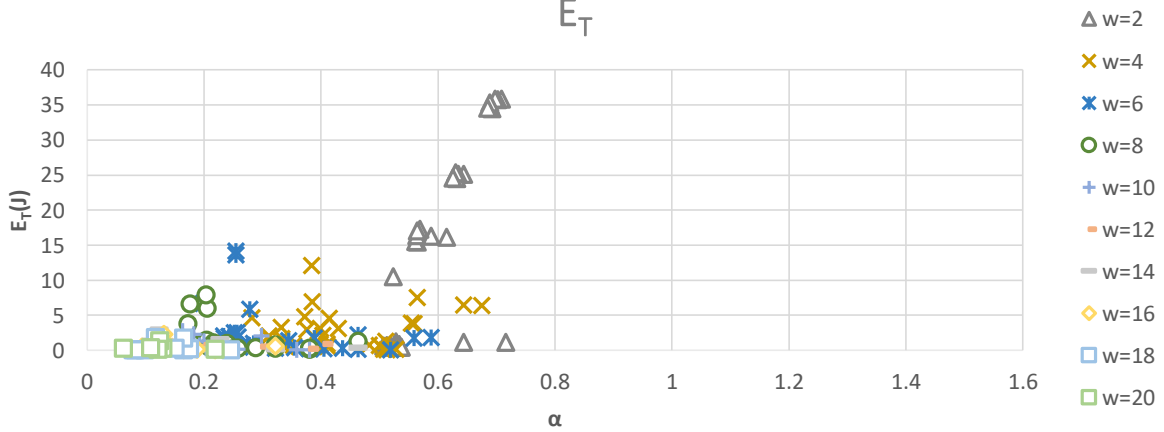
Equi-Aceleración=0.6g (Seno)



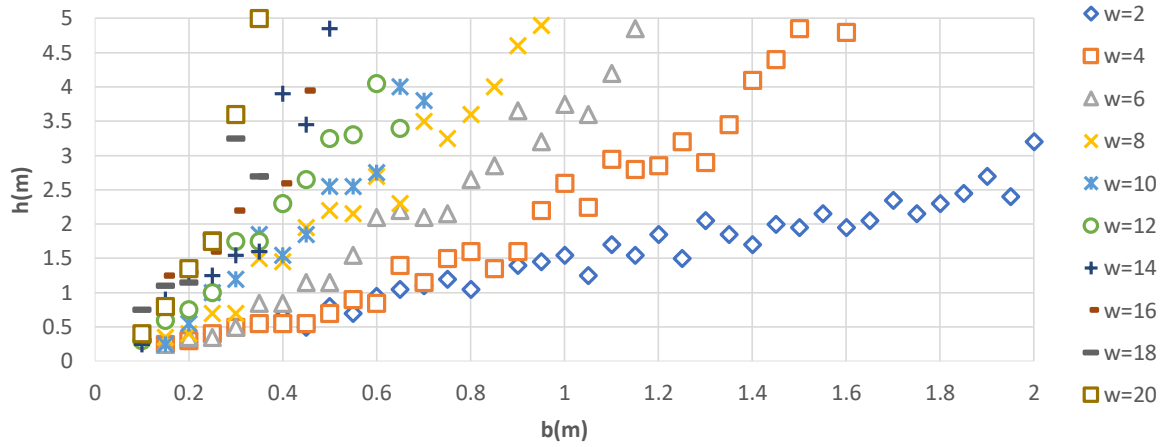
Equi-Aceleración=0.6g (Seno)
de Impactos



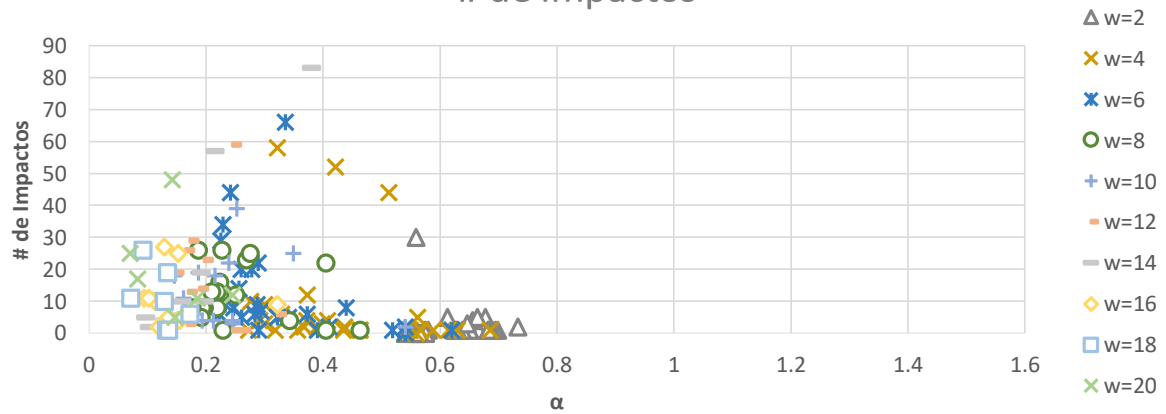
Equi-Aceleración=0.6g (Seno)
 E_T



Equi-Aceleración=0.65g (Seno)

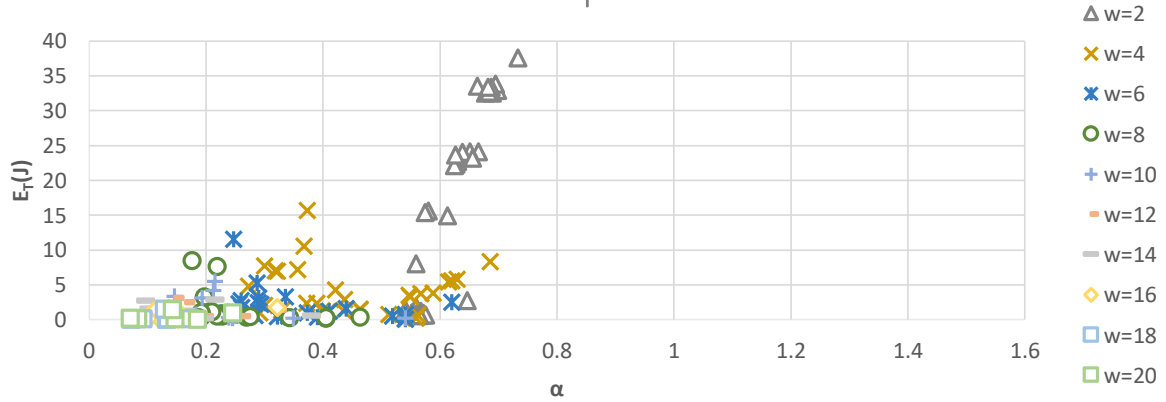


Equi-Aceleración=0.65g (Seno)
de Impactos

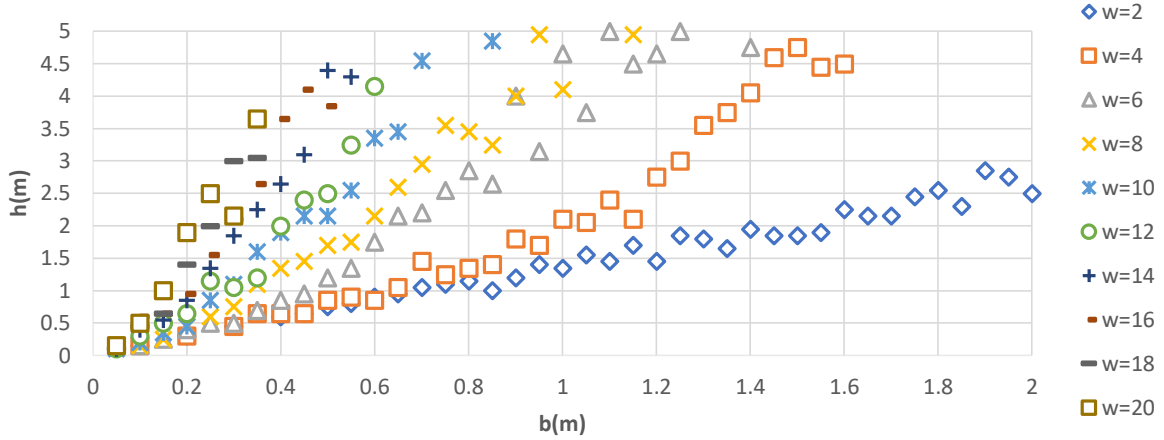


Equi-Aceleración=0.65g (Seno)

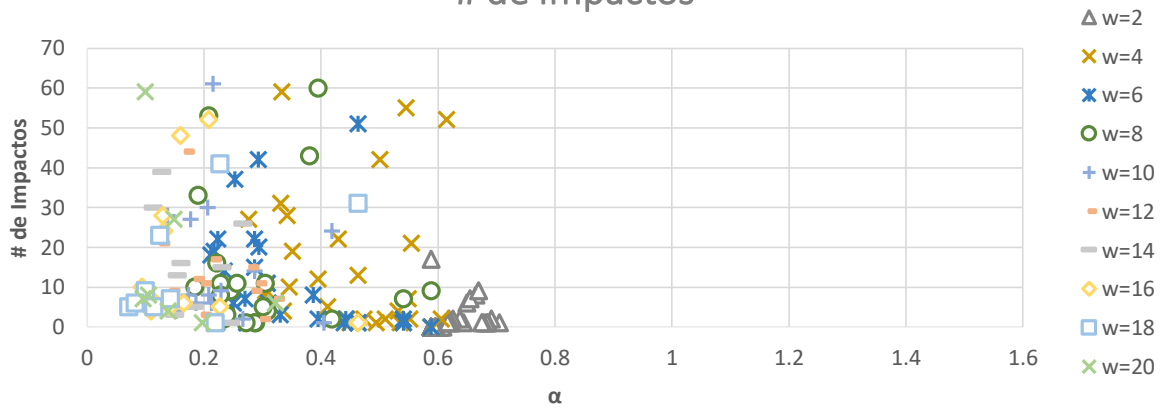
E_T



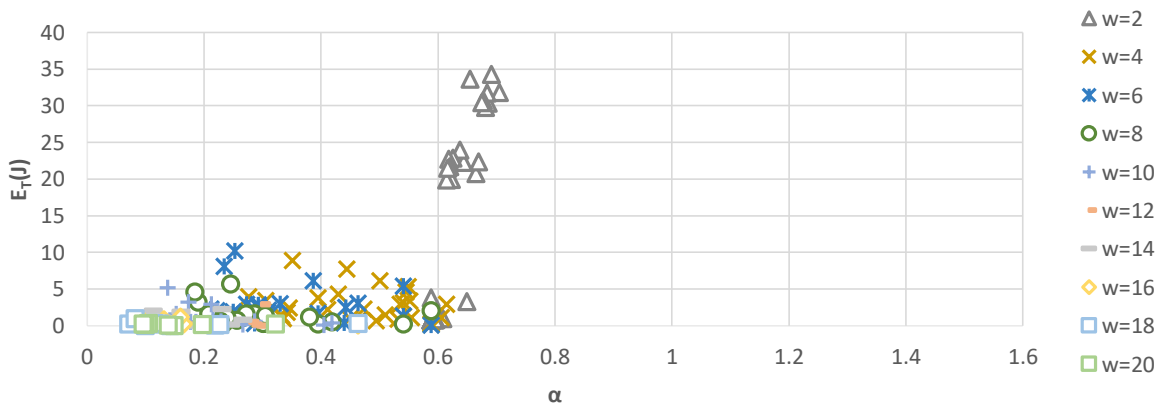
Equi-Aceleración=0.7g (Seno)



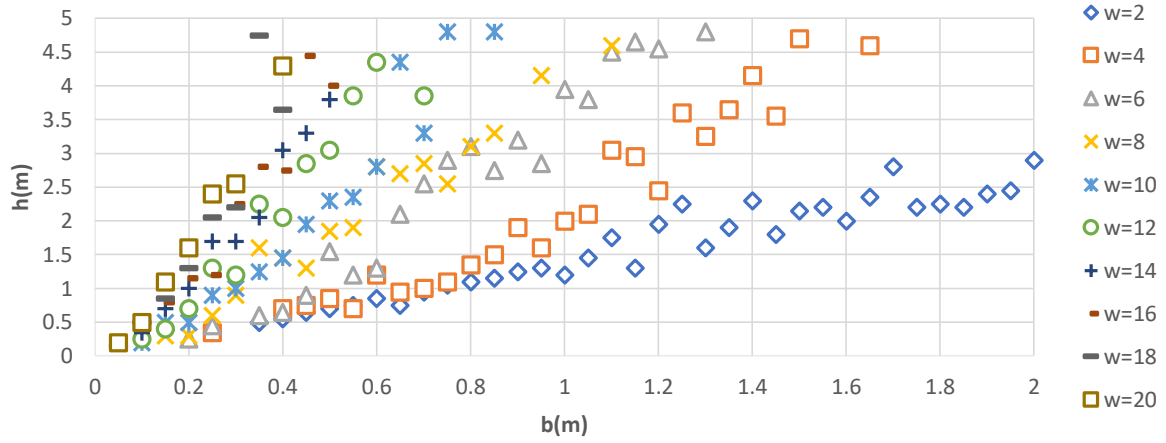
Equi-Aceleración=0.7g (Seno)
de Impactos



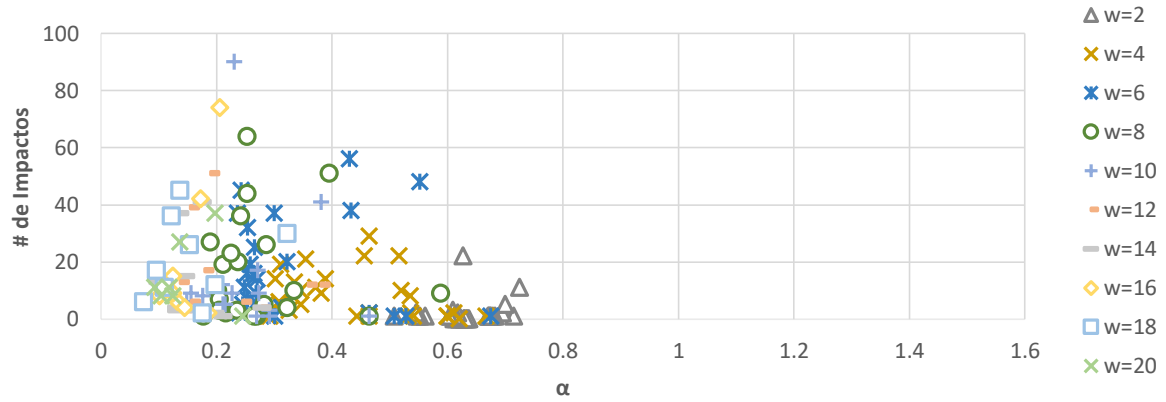
Equi-Aceleración=0.7g (Seno)
 E_T



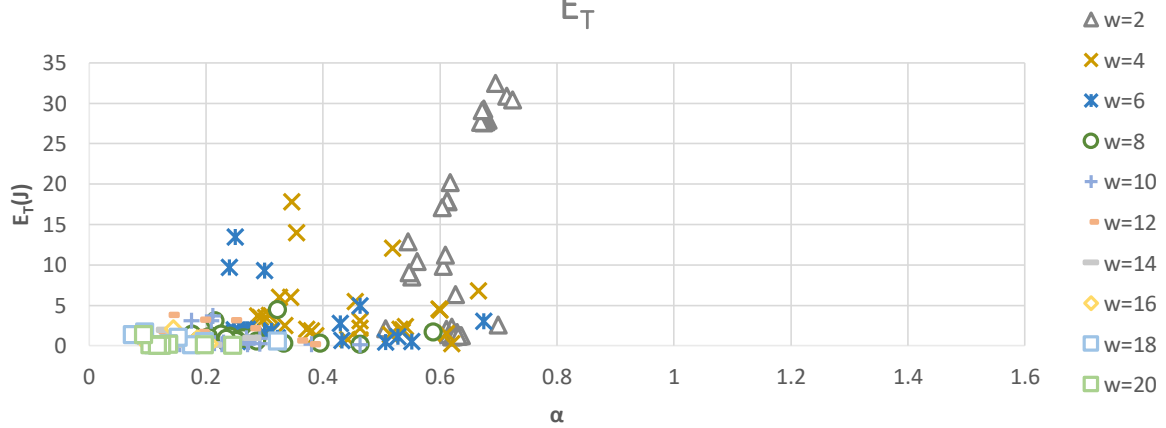
Equi-Aceleración=0.75g (Seno)



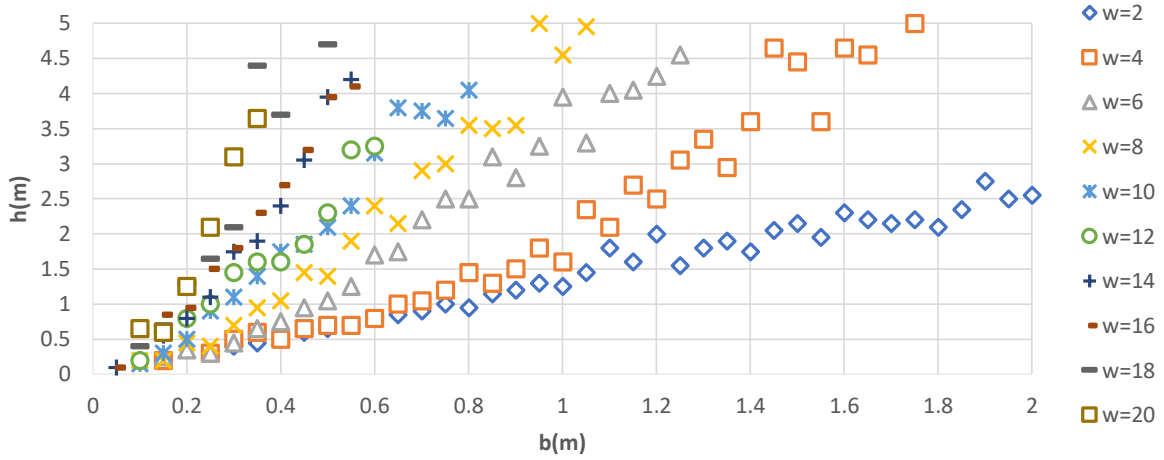
Equi-Aceleración=0.75g (Seno) # de Impactos



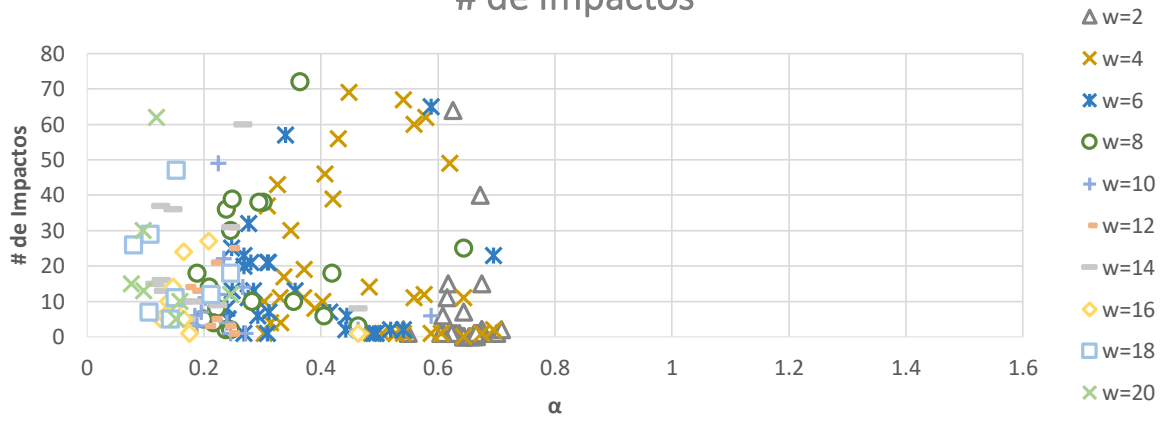
Equi-Aceleración=0.75g (Seno) E_T



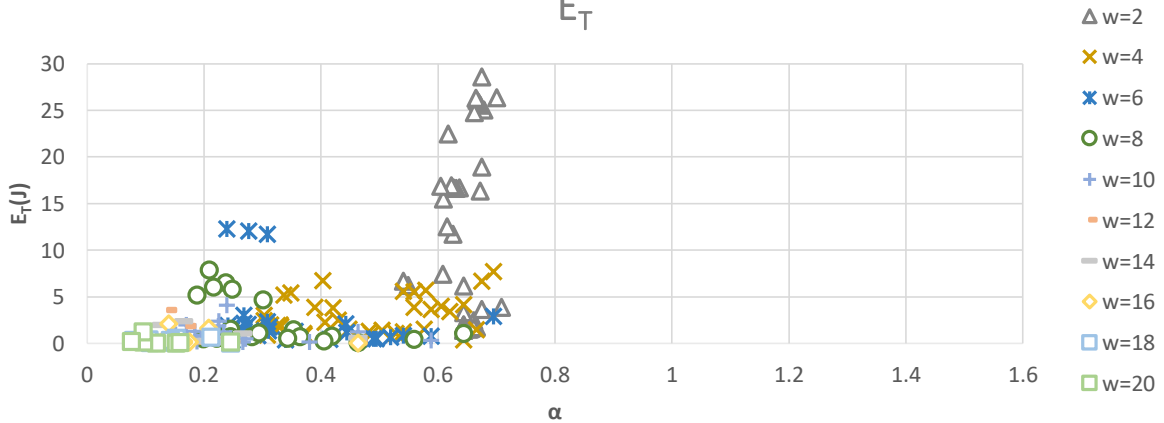
Equi-Aceleración=0.8g (Seno)



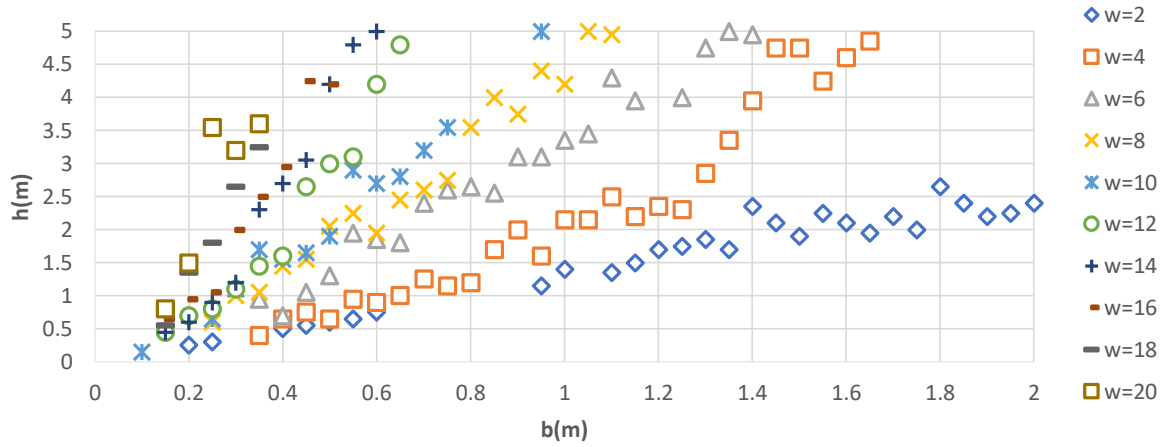
Equi-Aceleración=0.8g (Seno)
de Impactos



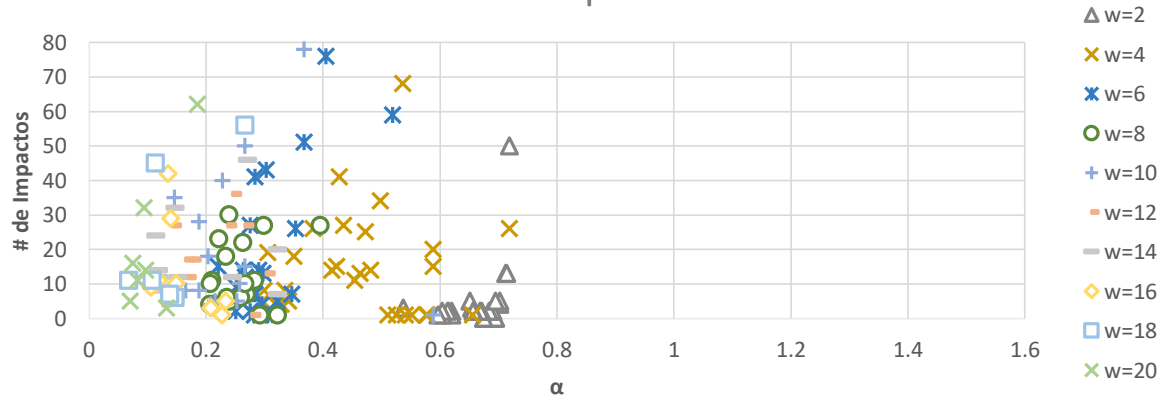
Equi-Aceleración=0.8g (Seno)
 E_T



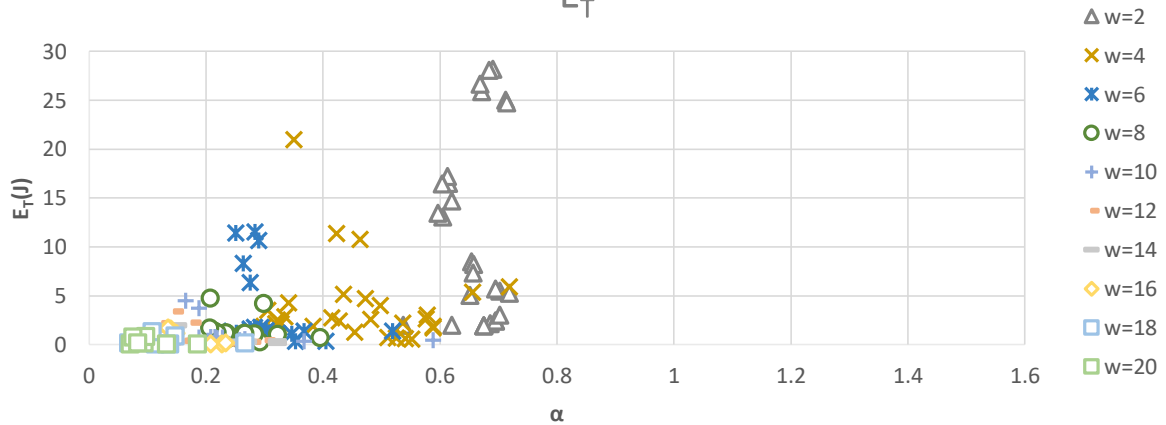
Equi-Aceleración=0.85g (Seno)



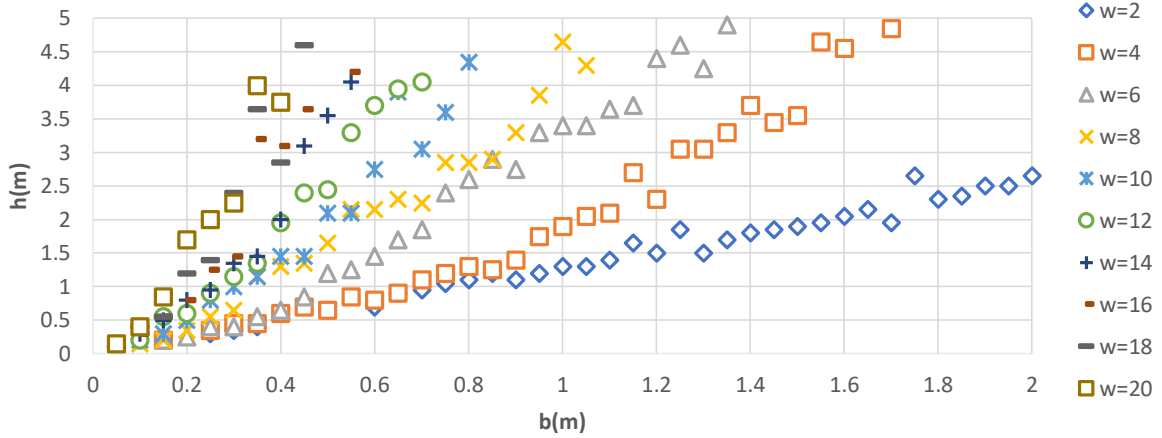
Equi-Aceleración=0.85g (Seno) # de Impactos



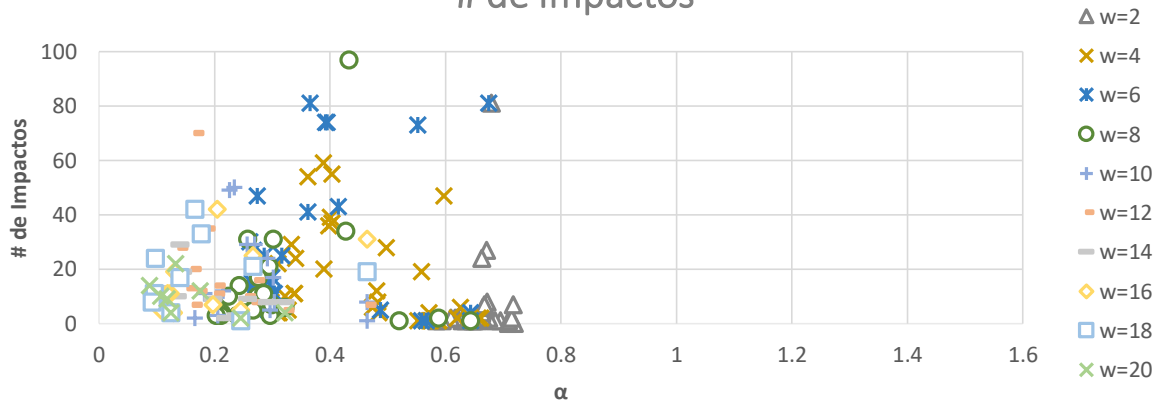
Equi-Aceleración=0.85g (Seno) E_T



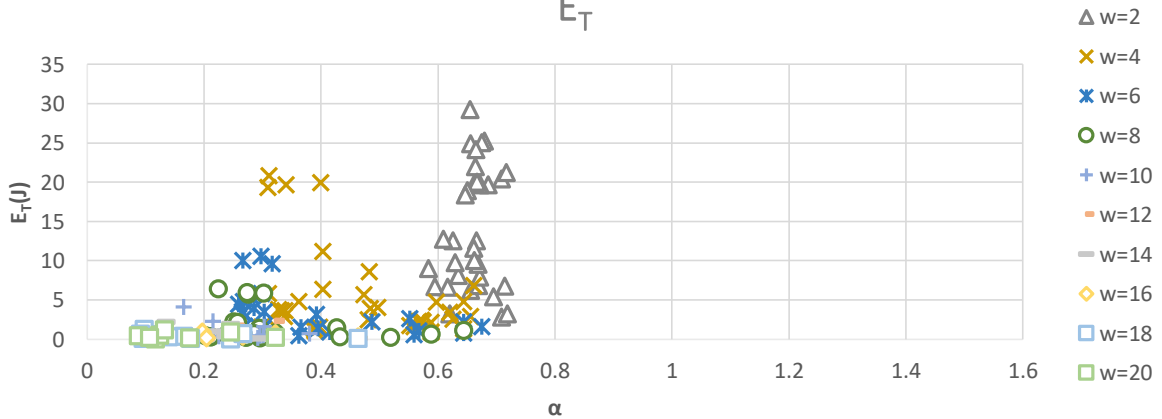
Equi-Aceleración=0.9g (Seno)



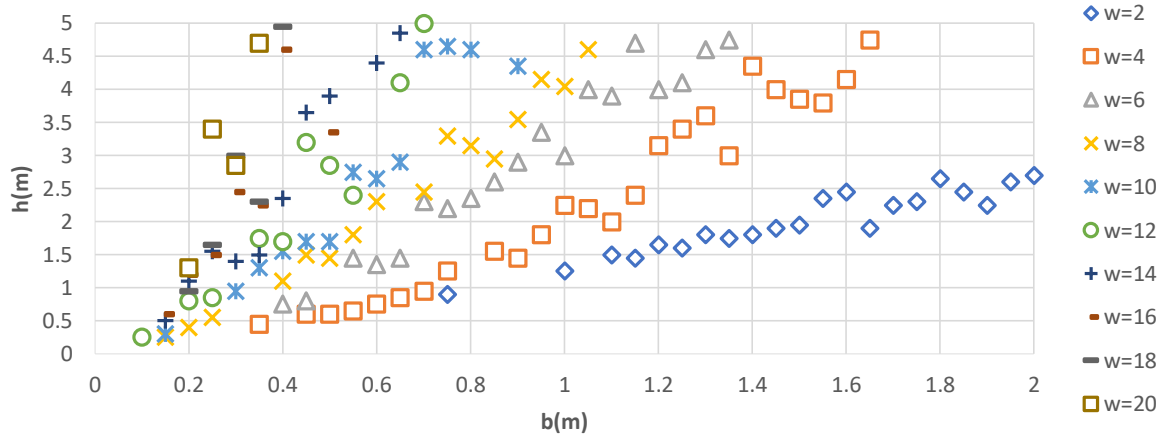
Equi-Aceleración=0.9g (Seno)
de Impactos



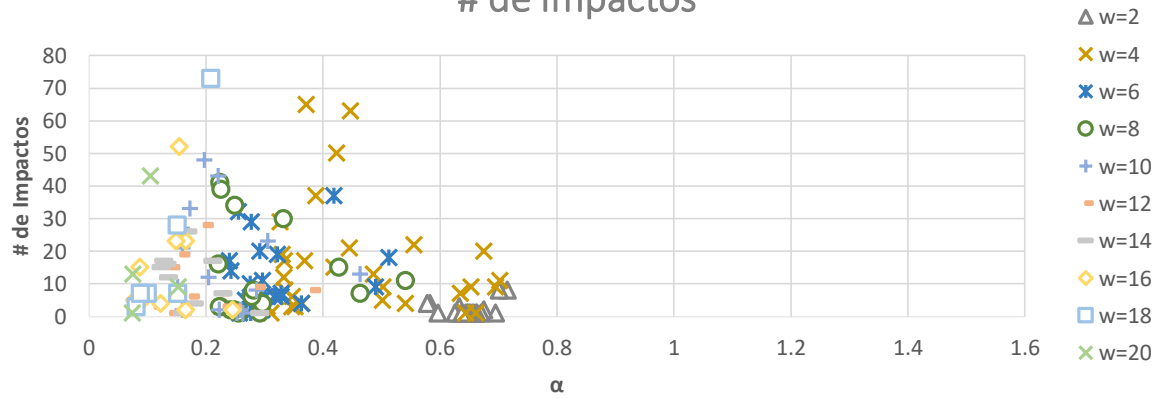
Equi-Aceleración=0.9g (Seno)
 E_T



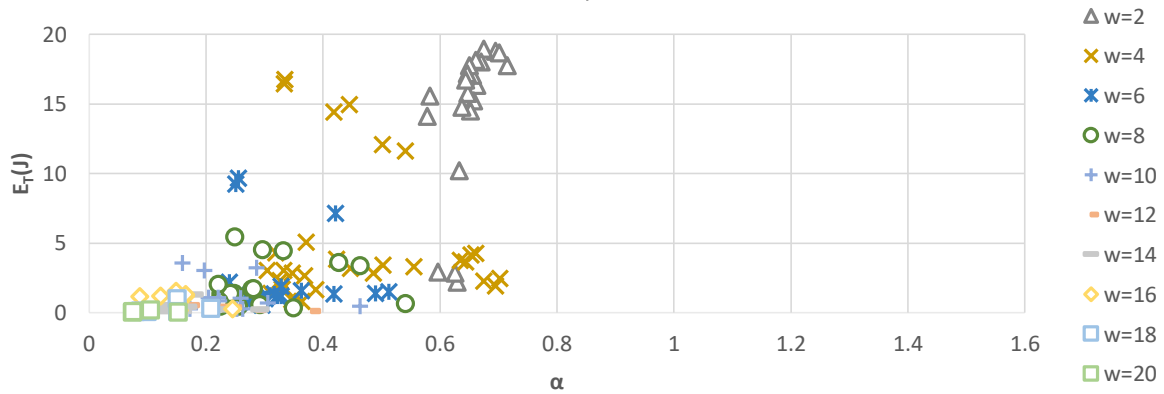
Equi-Aceleración=0.95g (Seno)



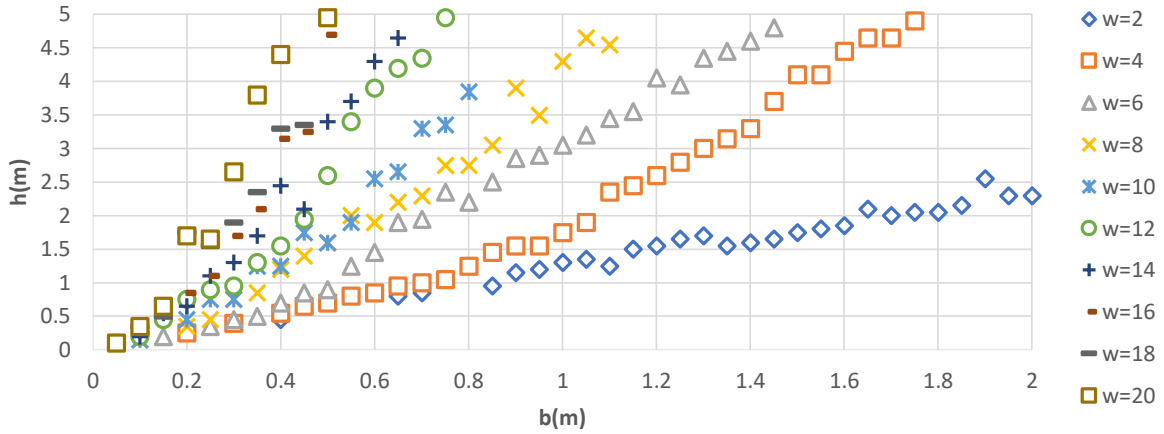
Equi-Aceleración=0.95g (Seno) # de Impactos



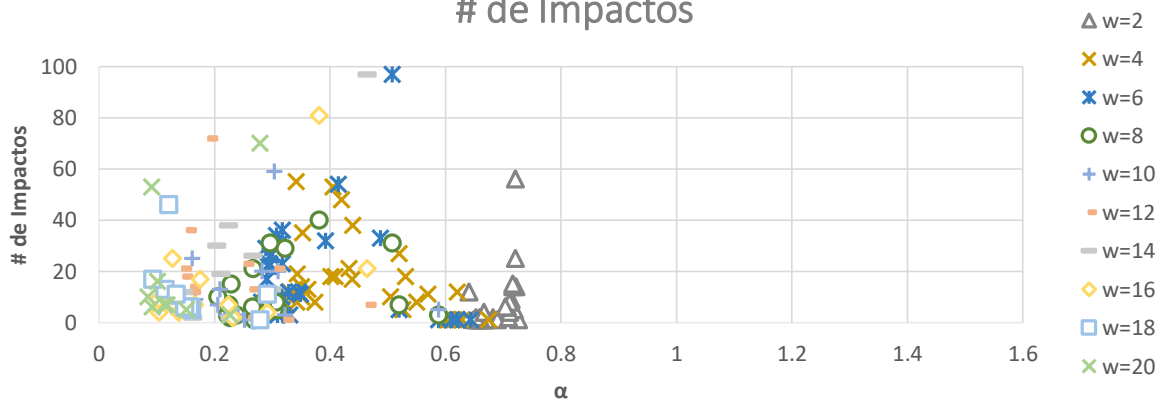
Equi-Aceleración=0.95g (Seno) E_T



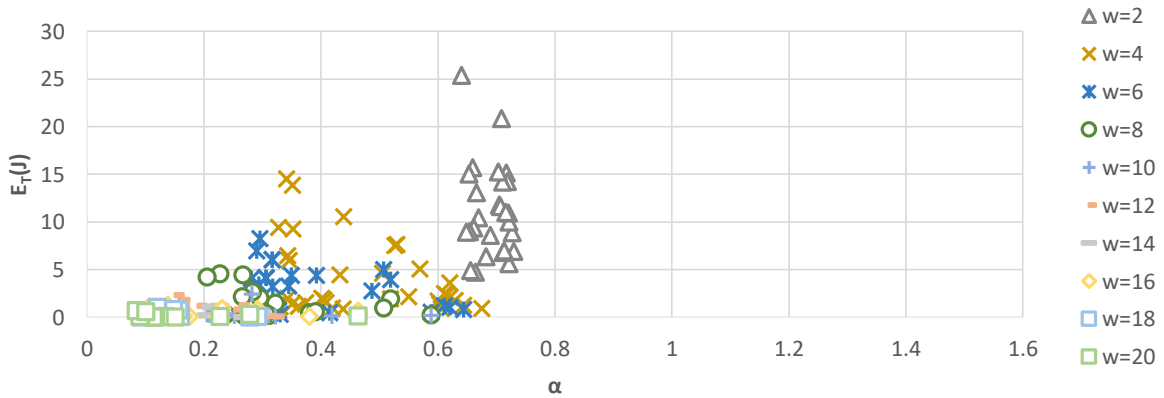
Equi-Aceleración=1g (Seno)



Equi-Aceleración=1g (Seno) # de Impactos

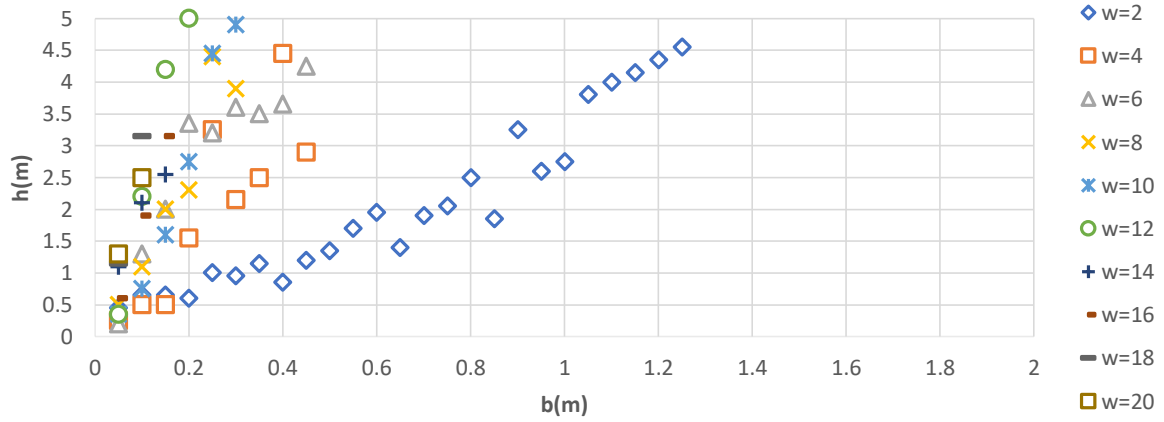


Equi-Aceleración=1g (Seno) E_T

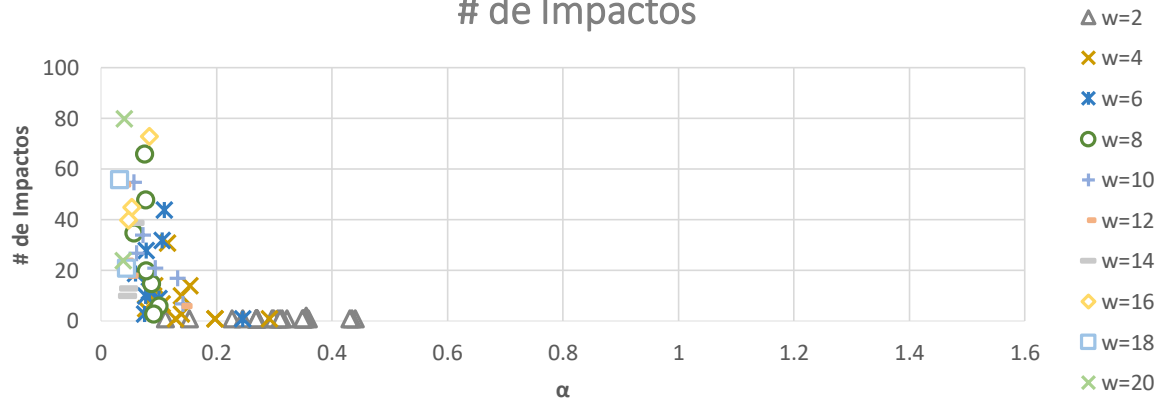


ANEXO 6

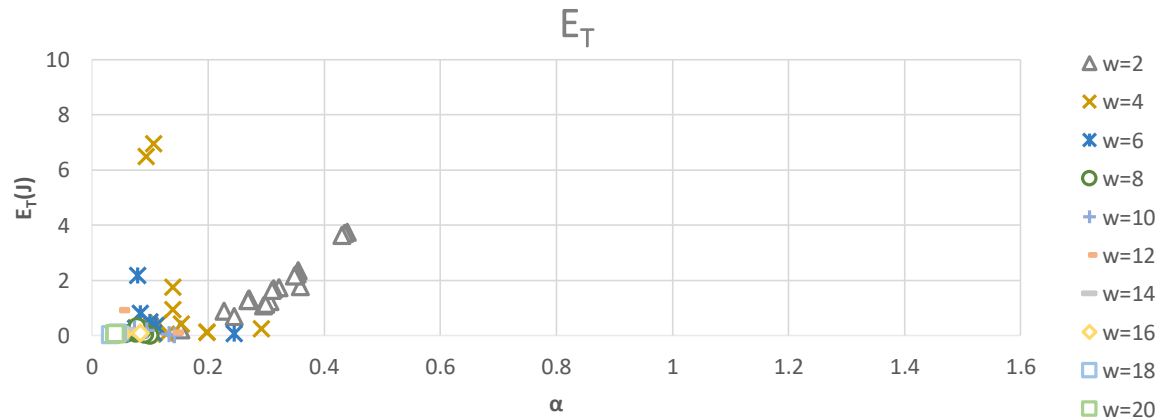
Equi-Aceleración=0.05g (MSAV)



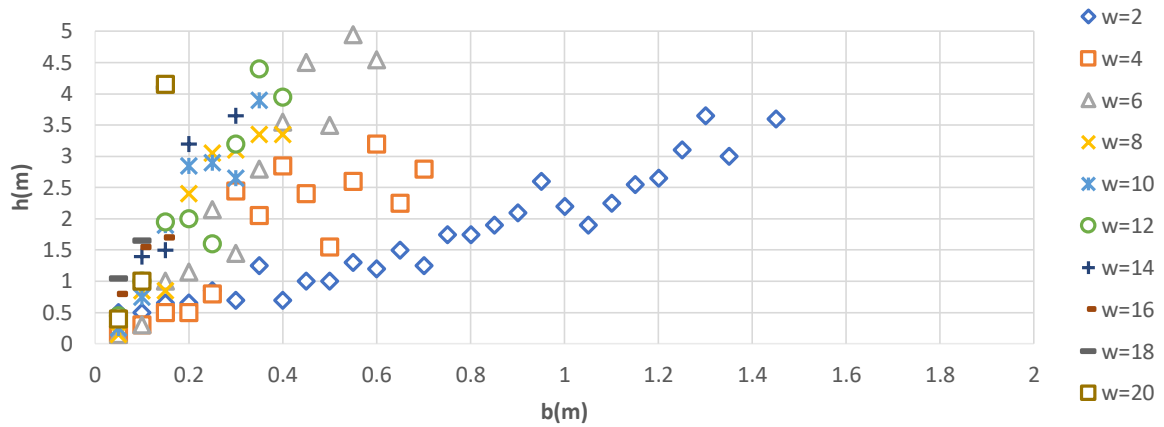
Equi-Aceleración=0.05g (MSAV) # de Impactos



Equi-Aceleración=0.05g (MSAV)

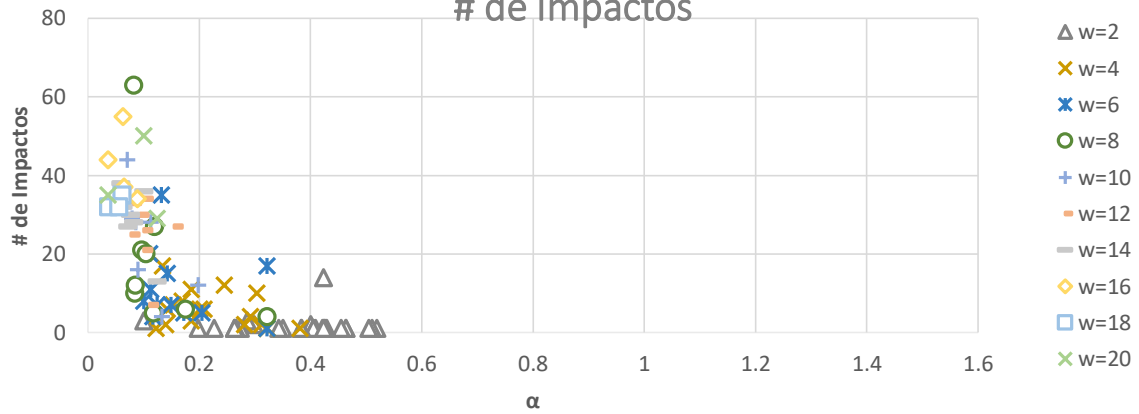


Equi-Aceleración=0.1g (MSAV)



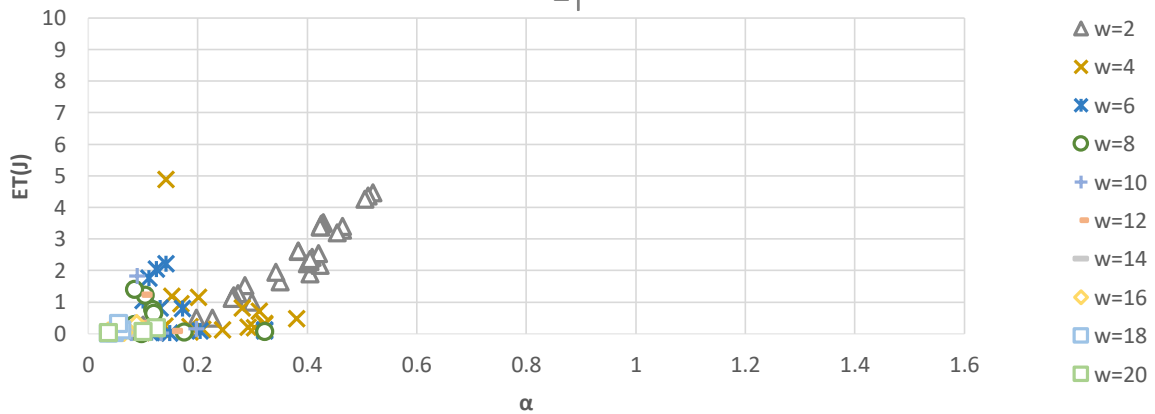
Equi-Aceleración=0.1g (MSAV)

de Impactos

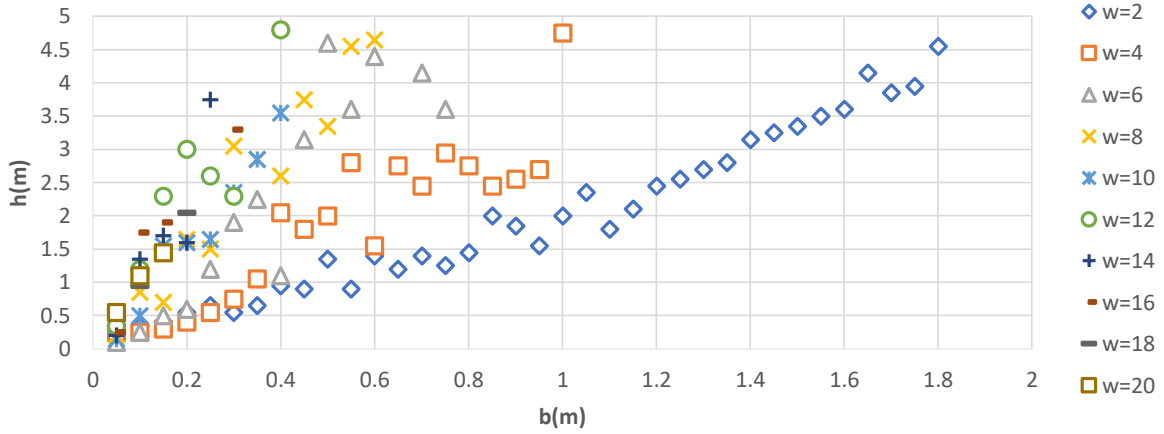


Equi-Aceleración=0.1g (MSAV)

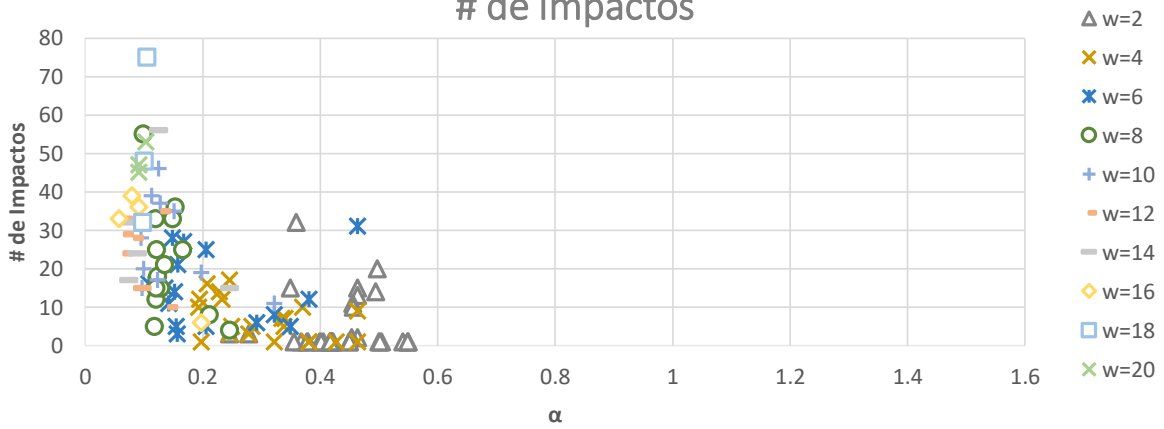
E_T



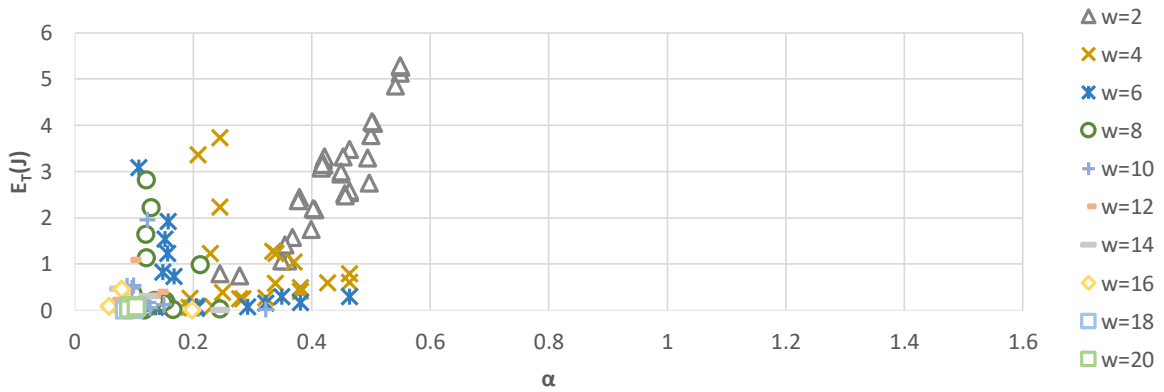
Equi-Aceleración=0.15g (MSAV)



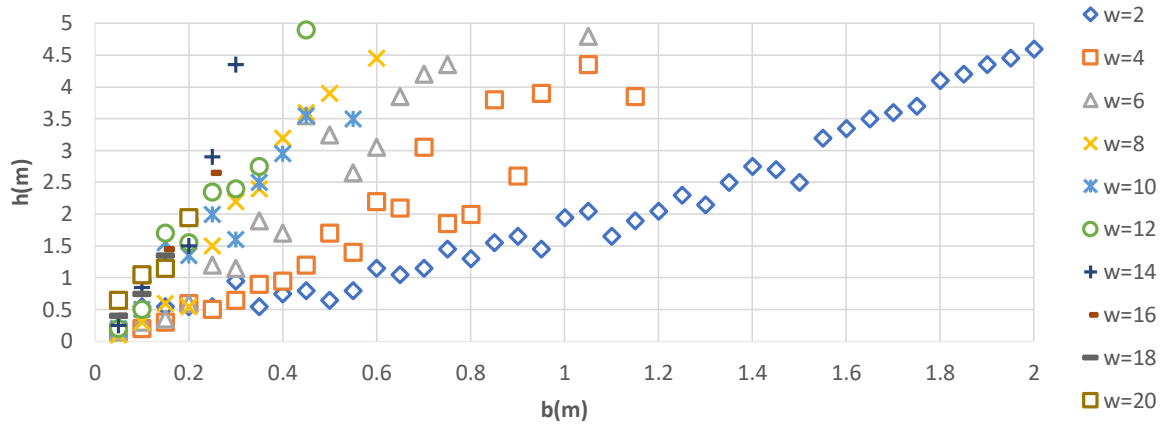
Equi-Aceleración=0.15g (MSAV)
de Impactos



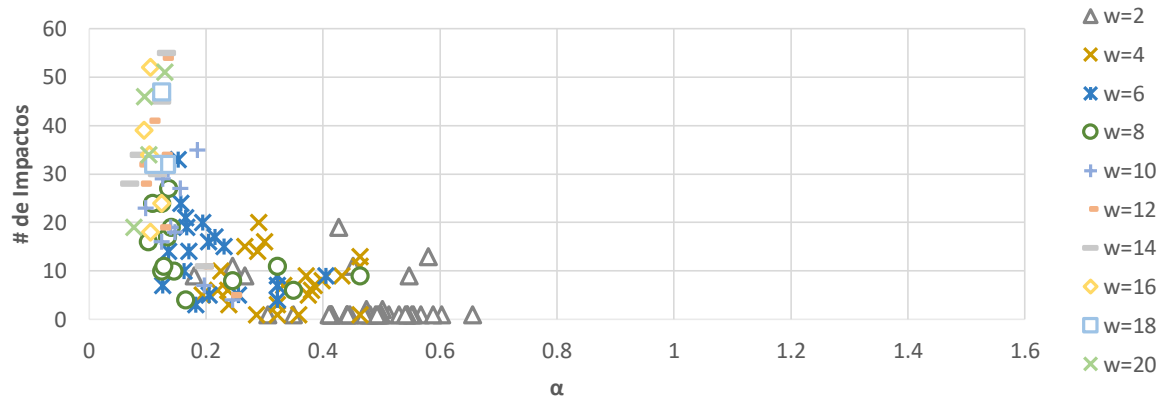
Equi-Aceleración=0.15g (MSAV)
 E_T



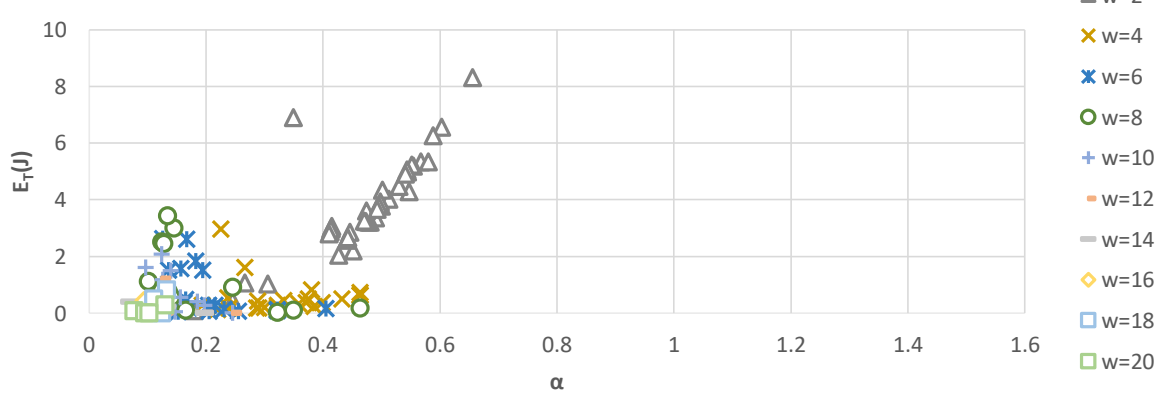
Equi-Aceleración=0.2g (MSAV)



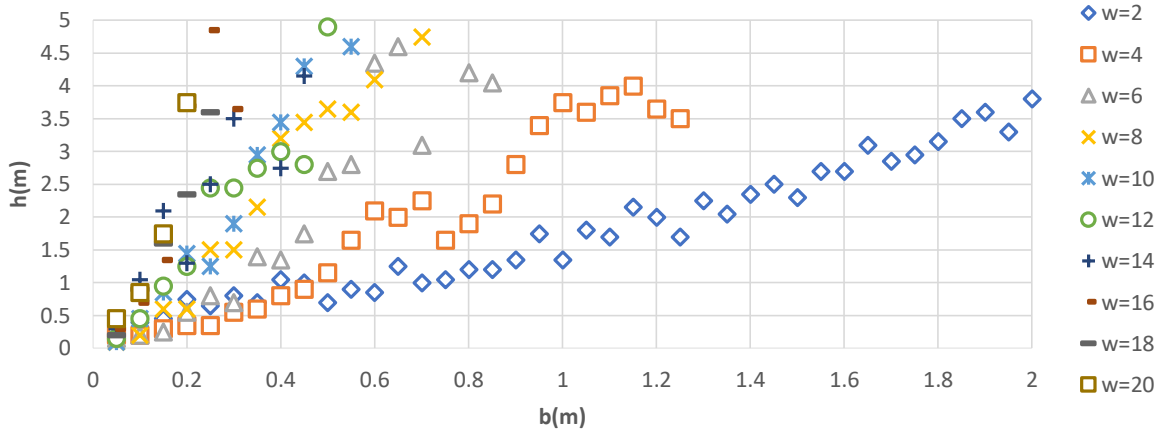
Equi-Aceleración=0.2g (MSAV)
de Impactos



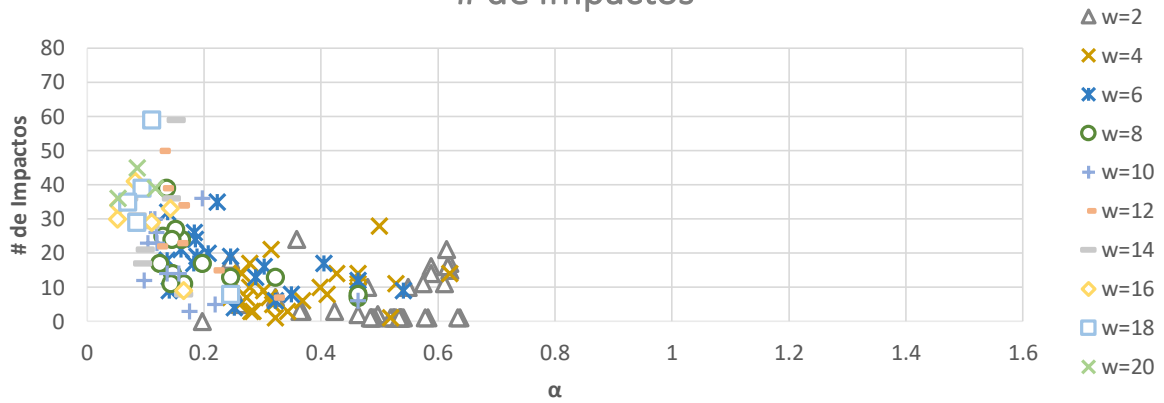
Equi-Aceleración=0.2g (MSAV)
 E_T



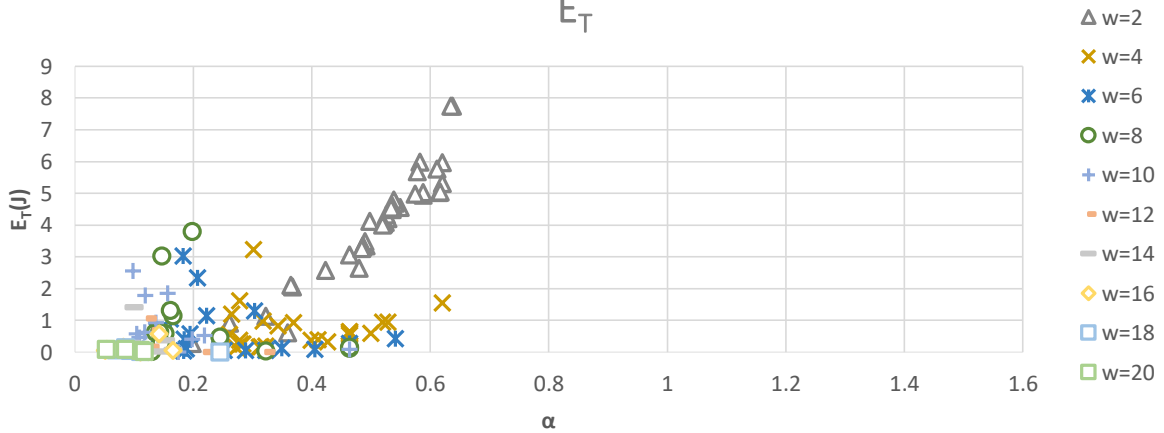
Equi-Aceleración=0.25g (MSAV)



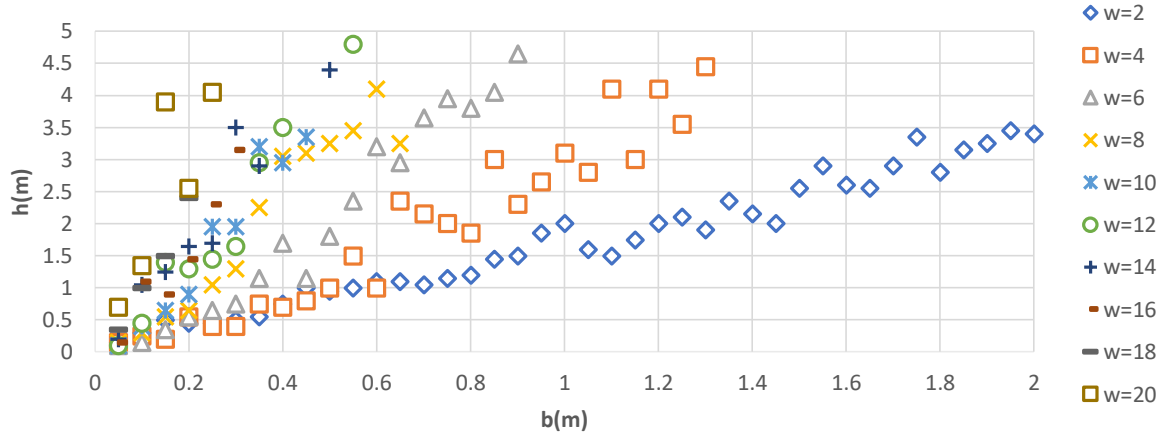
Equi-Aceleración=0.25g (MSAV)
de Impactos



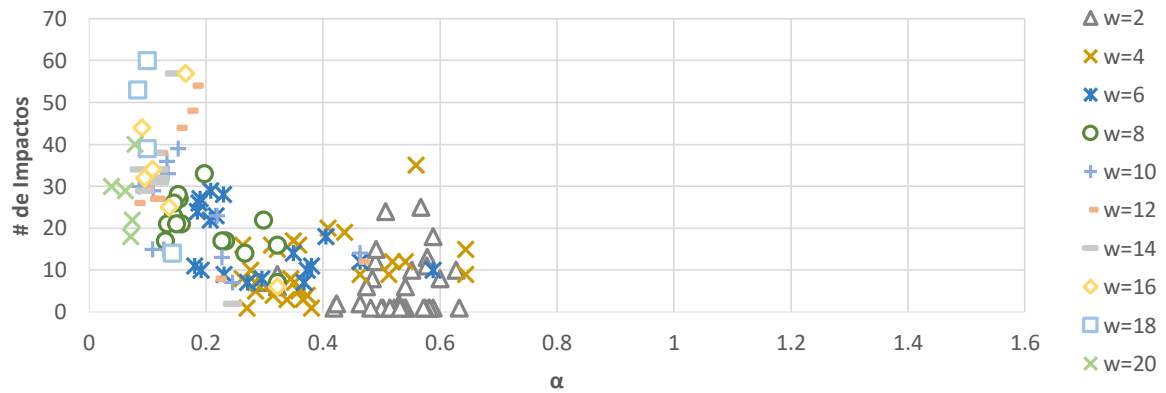
Equi-Aceleración=0.25g (MSAV)
 E_T



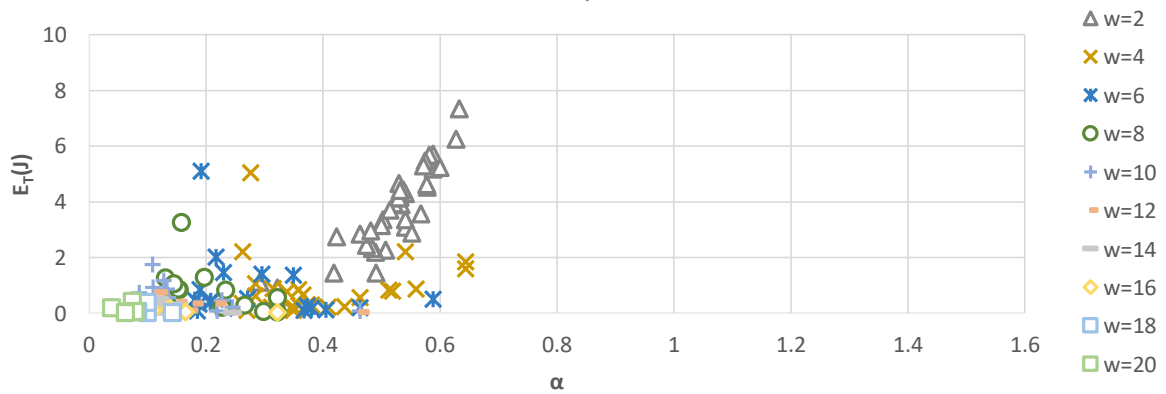
Equi-Aceleración=0.3g (MSAV)



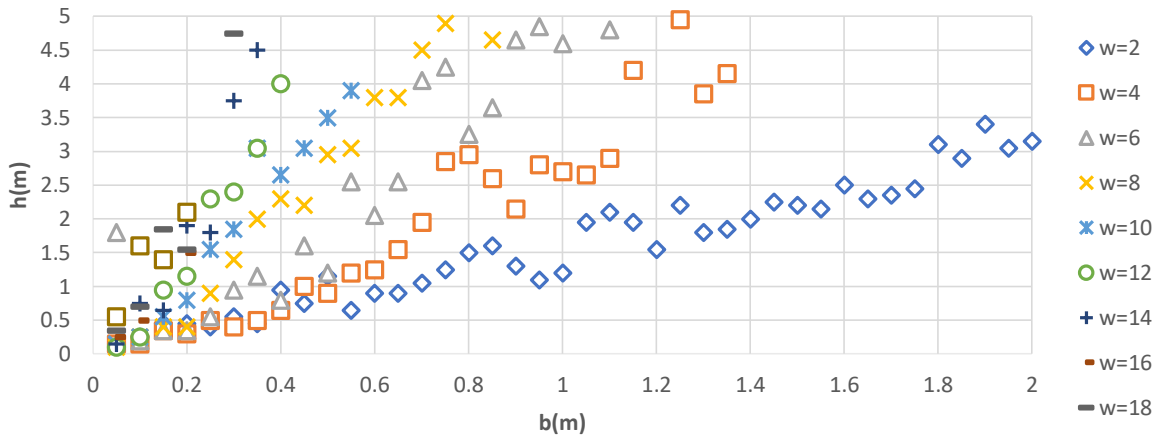
Equi-Aceleración=0.3g (MSAV)
de Impactos



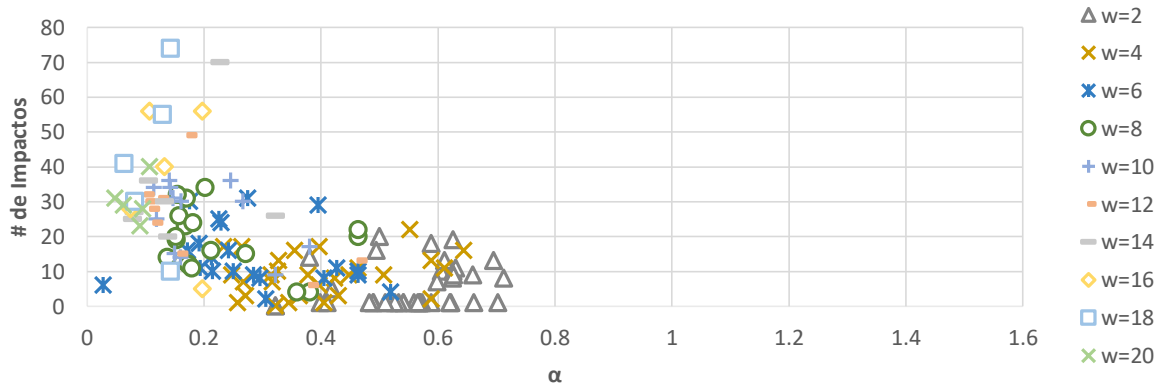
Equi-Aceleración=0.3g (MSAV)
 E_T



Equi-Aceleración=0.35g (MSAV)

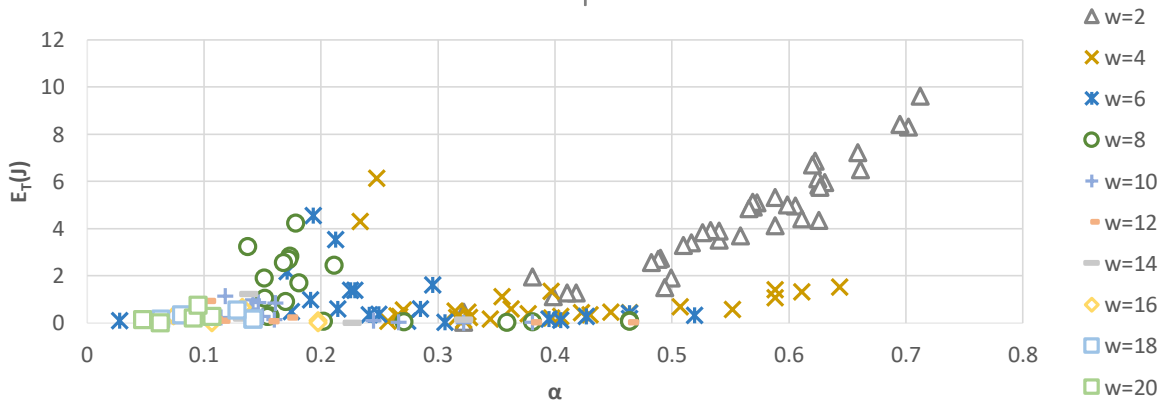


Equi-Aceleración=0.35g (MSAV)
de Impactos

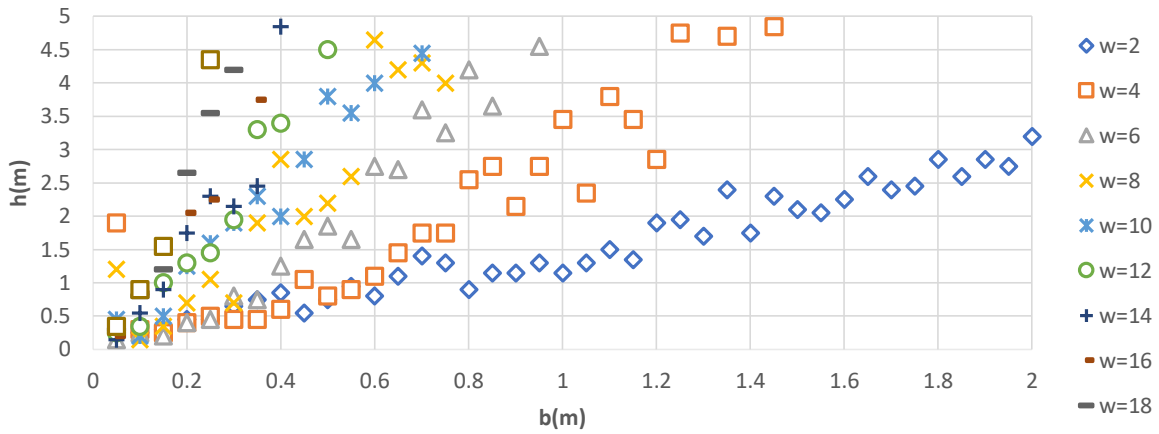


Equi-Aceleración=0.35g (MSAV)

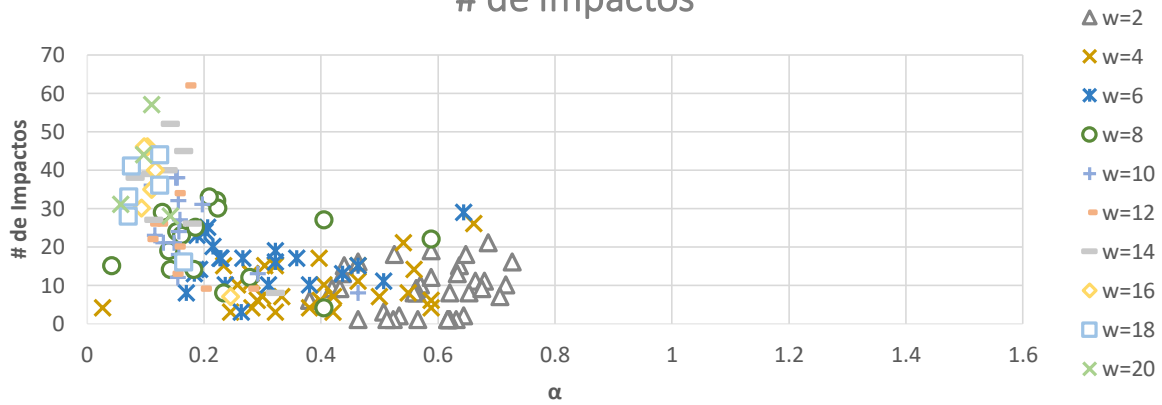
E_T



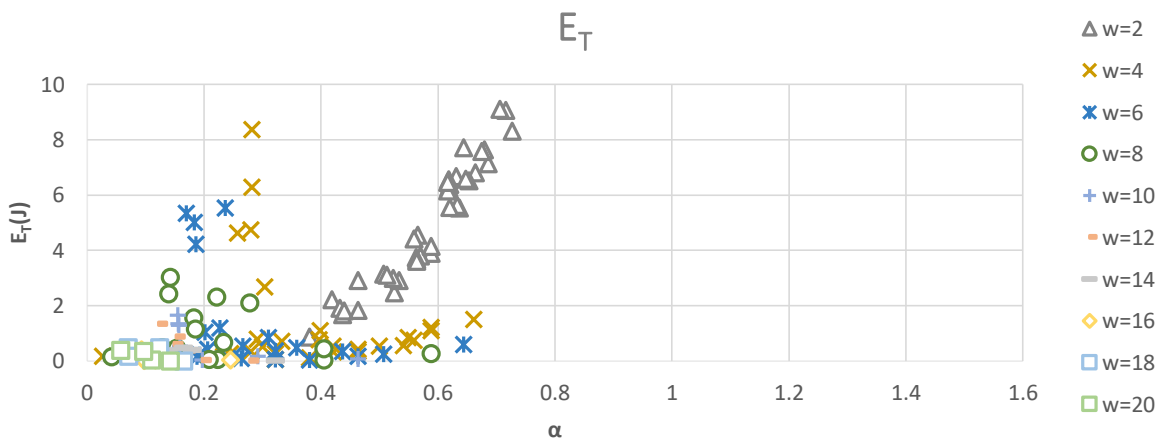
Equi-Aceleración=0.4g (MSAV)



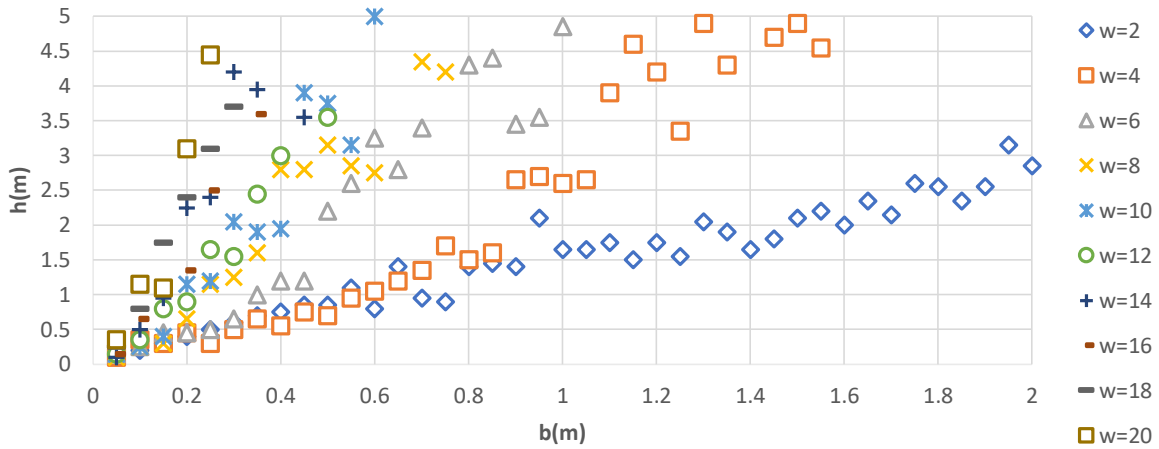
Equi-Aceleración=0.4g (MSAV) # de Impactos



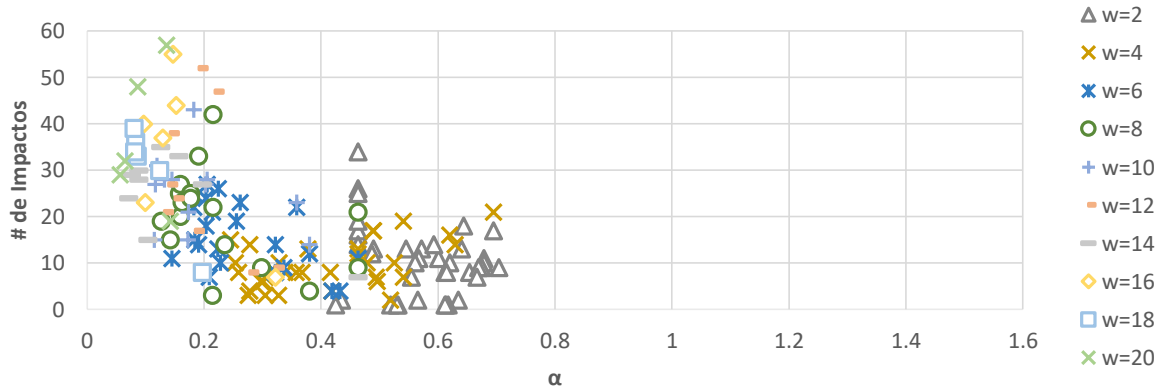
Equi-Aceleración=0.4g (MSAV)



Equi-Aceleración=0.45g (MSAV)

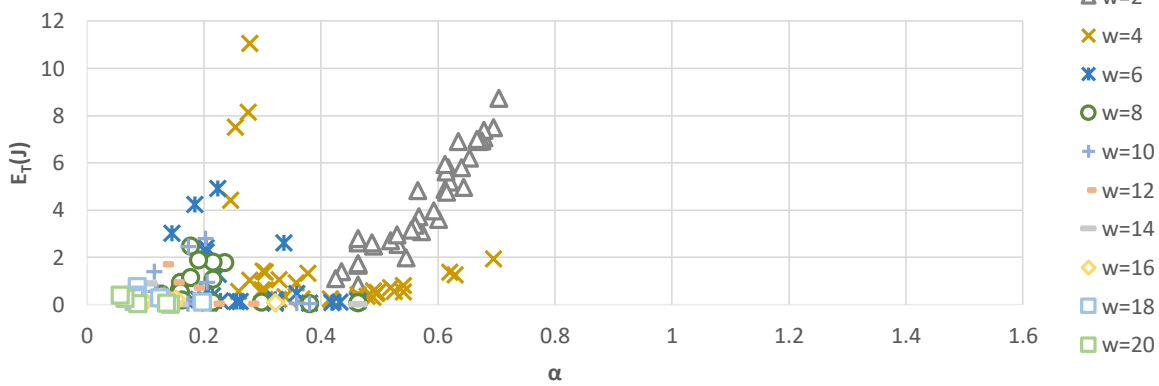


Equi-Aceleración=0.45g (MSAV)
de Impactos

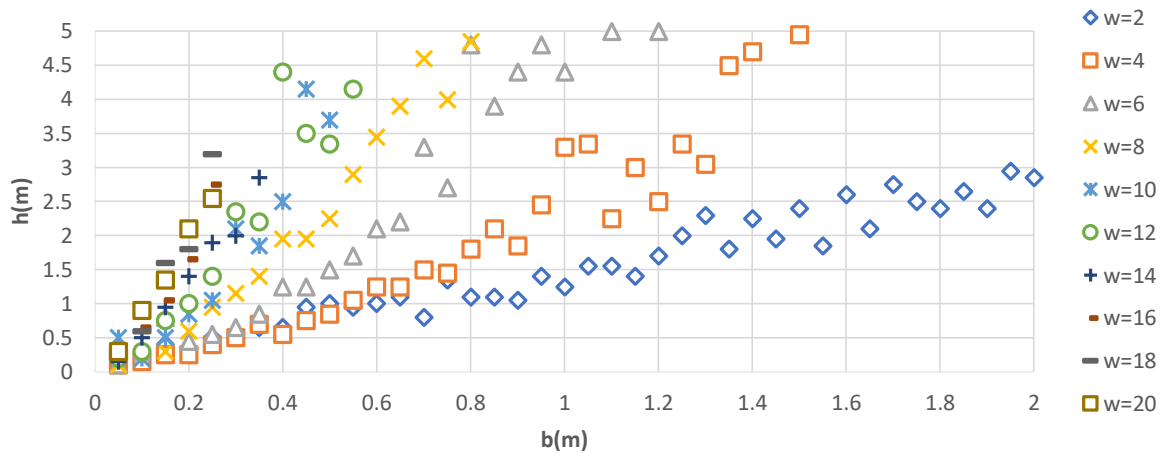


Equi-Aceleración=0.45g (MSAV)

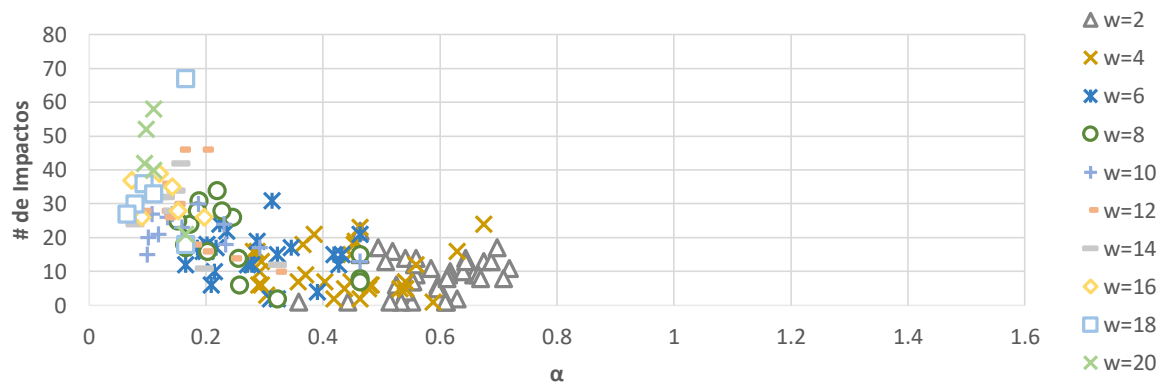
E_T



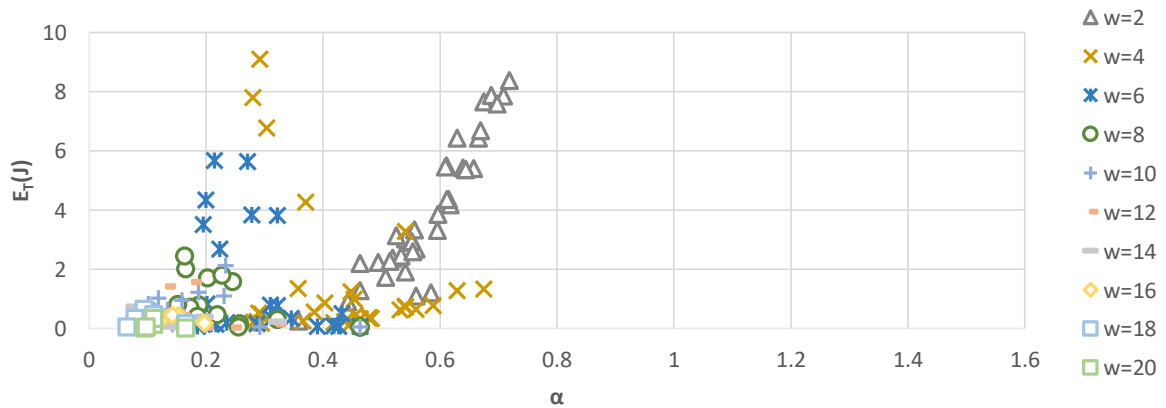
Equi-Aceleración=0.5g (MSAV)



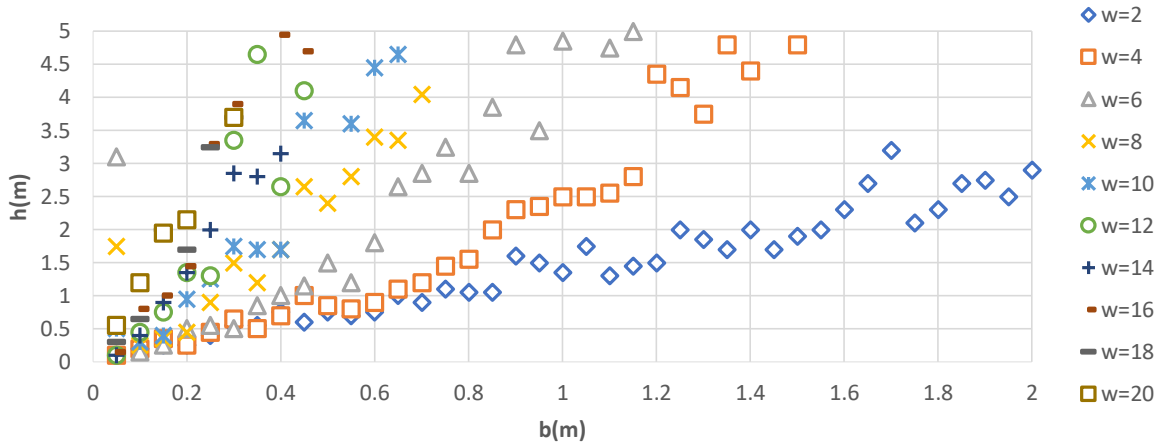
Equi-Aceleración=0.5g (MSAV)
de Impactos



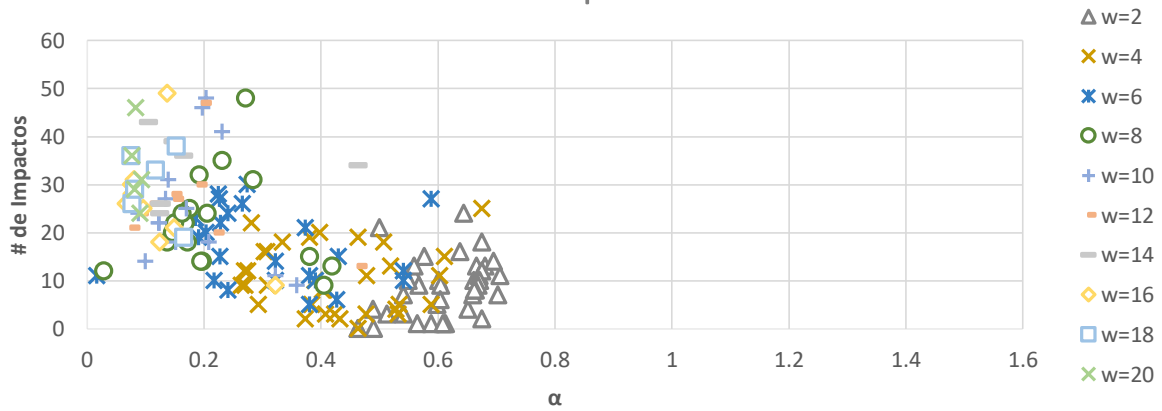
Equi-Aceleración=0.5g (MSAV)
 E_T



Equi-Aceleración=0.55g (MSAV)

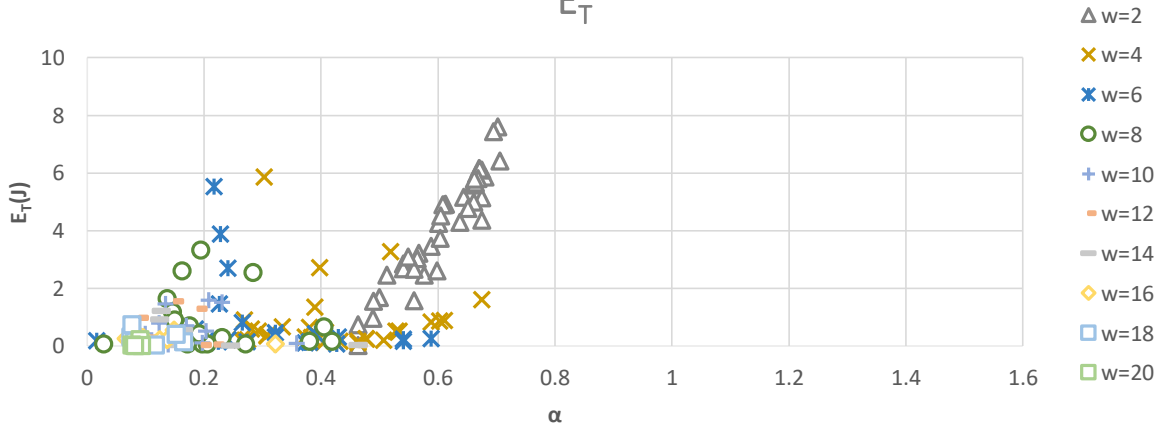


Equi-Aceleración=0.55g (MSAV)
de Impactos

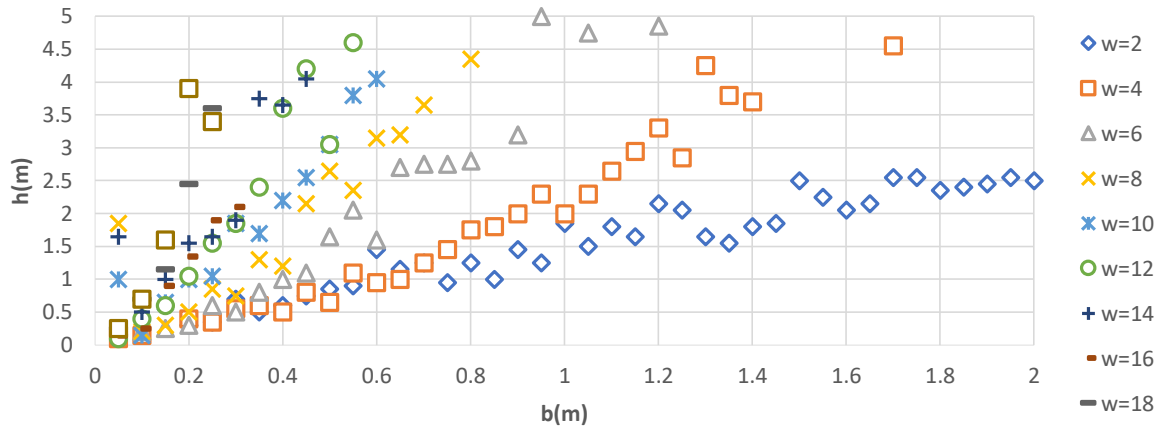


Equi-Aceleración=0.55g (MSAV)

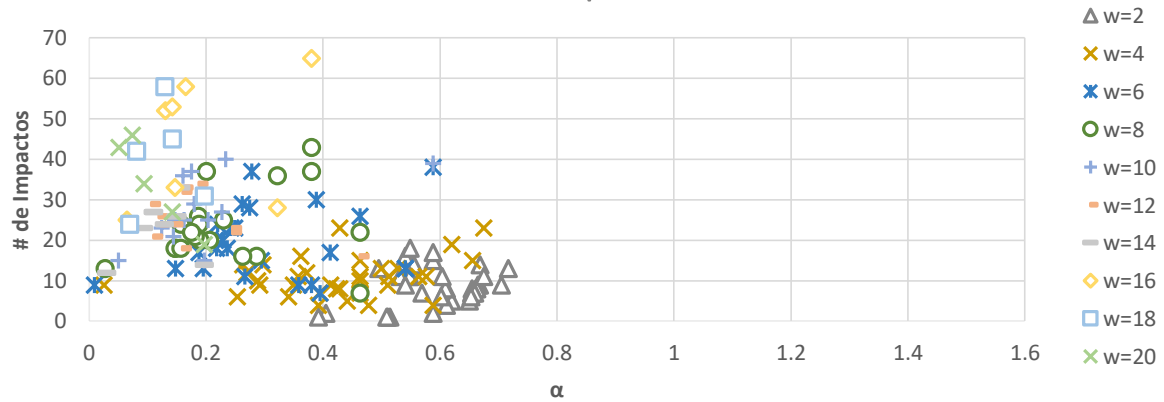
E_T



Equi-Aceleración=0.6g (MSAV)

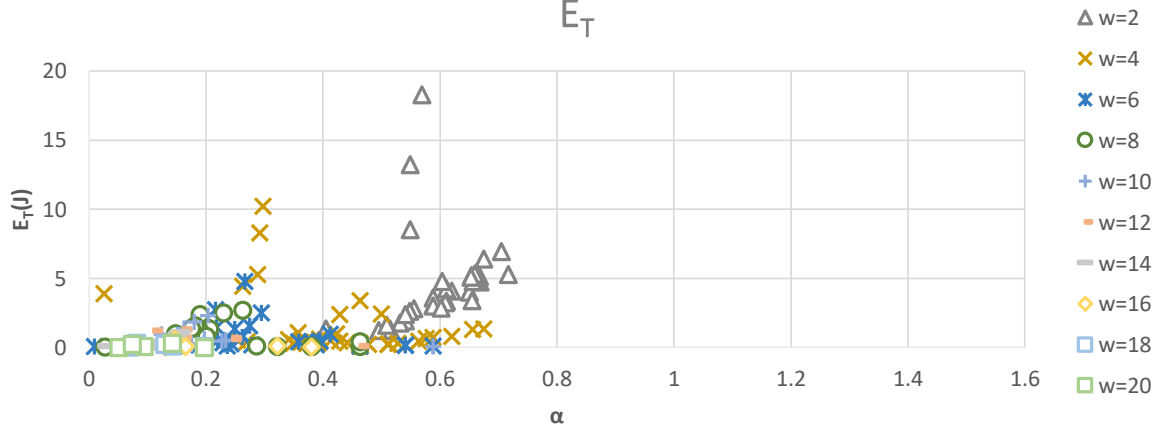


Equi-Aceleración=0.6g (MSAV)
de Impactos

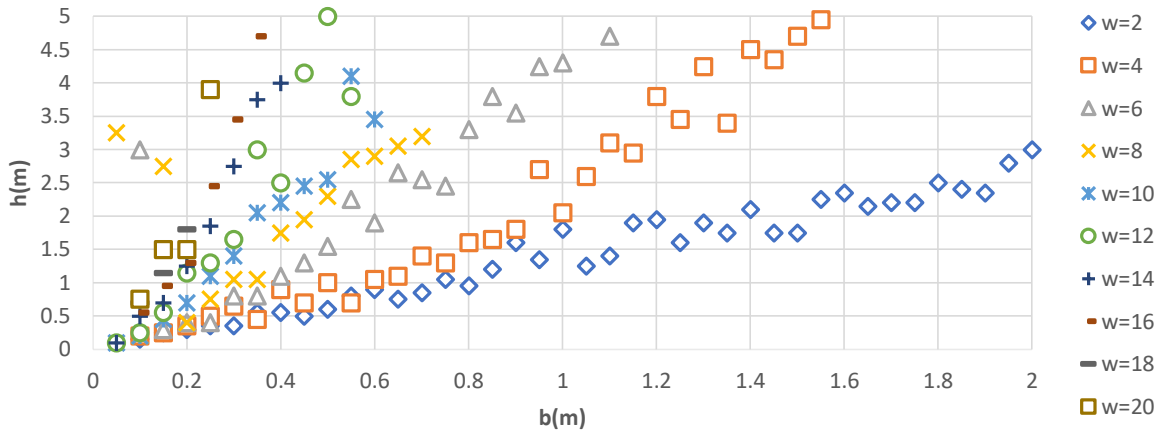


Equi-Aceleración=0.6g (MSAV)

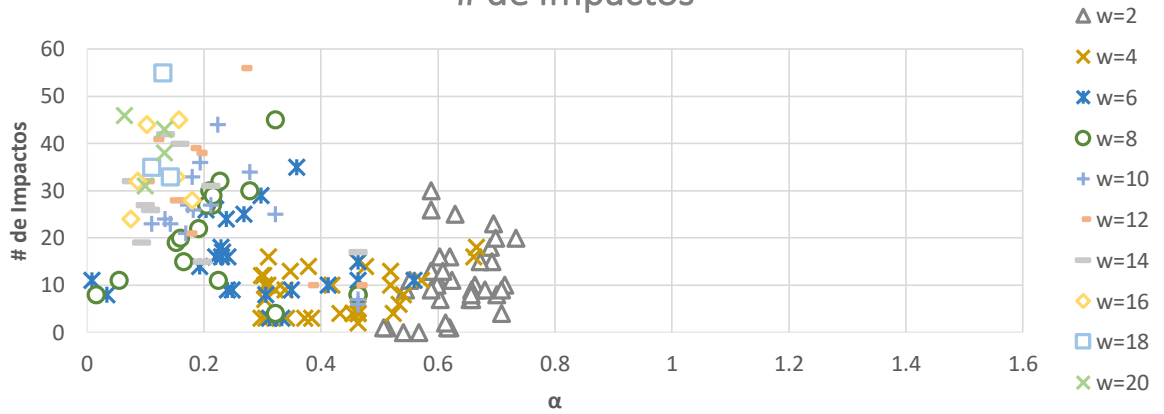
E_T



Equi-Aceleración=0.65g (MSAV)

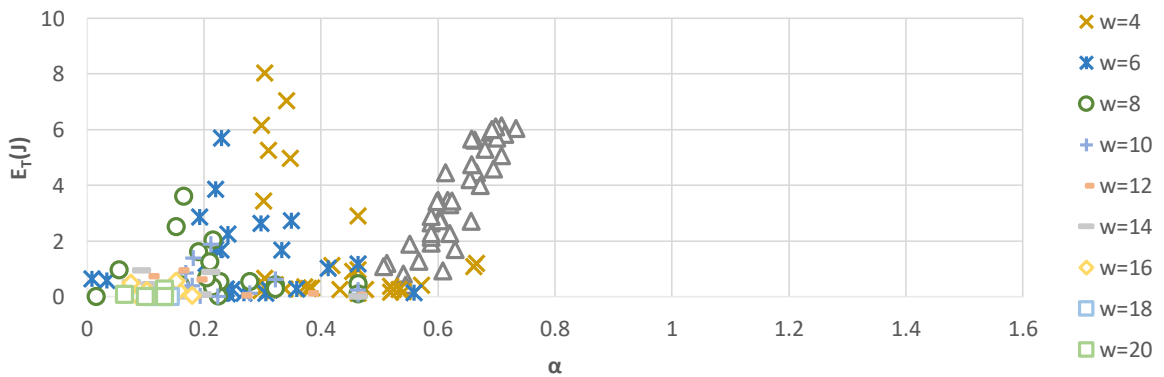


Equi-Aceleración=0.65g (MSAV) # de Impactos

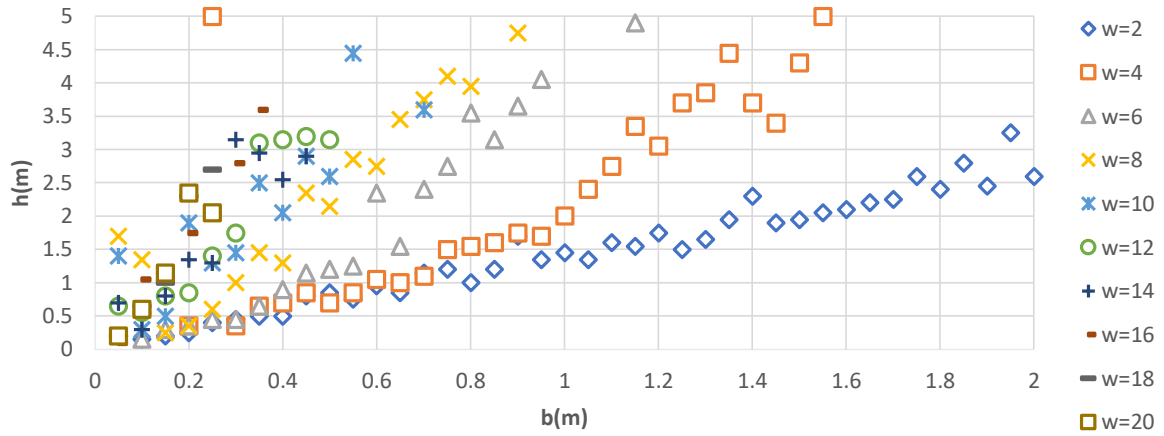


Equi-Aceleración=0.65g (MSAV)

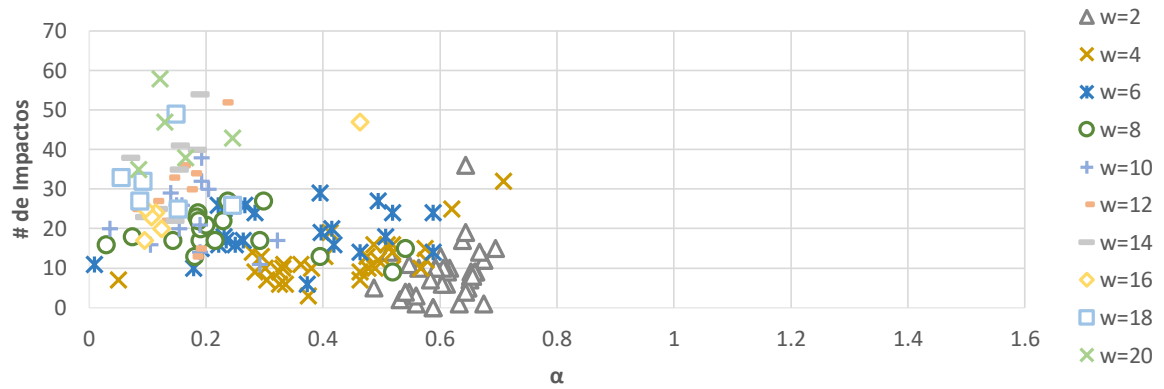
E_T



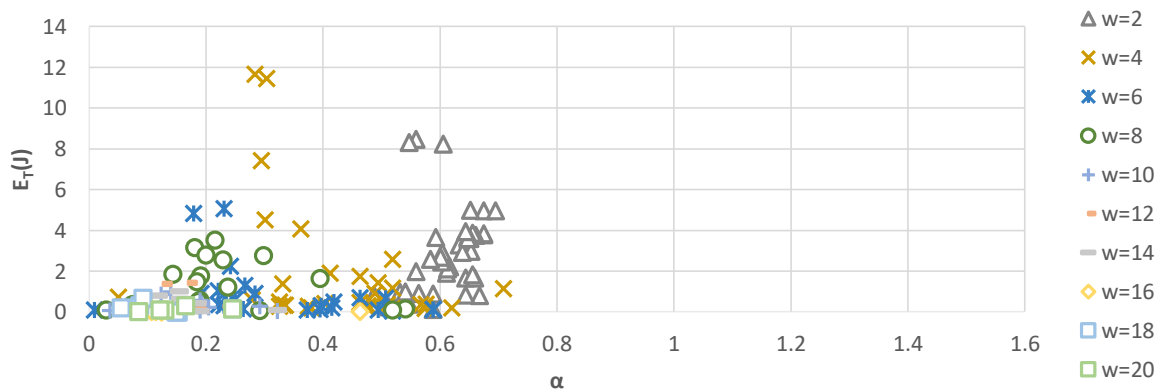
Equi-Aceleración=0.7g (MSAV)



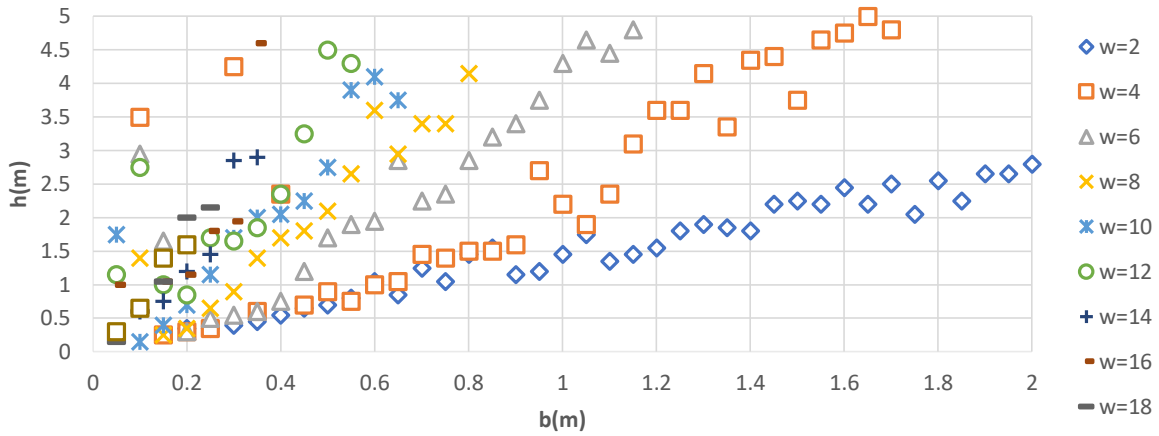
Equi-Aceleración=0.7g (MSAV)
de Impactos



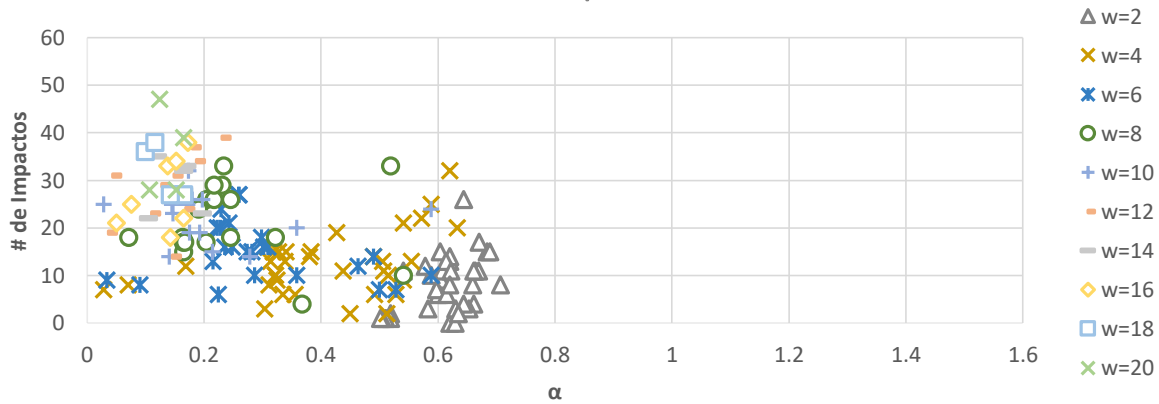
Equi-Aceleración=0.7g (MSAV)
 E_T



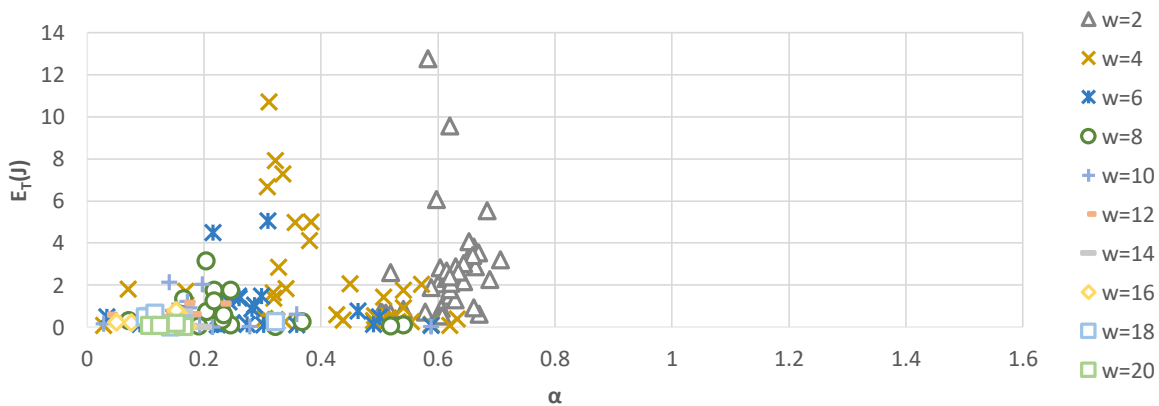
Equi-Aceleración=0.75g (MSAV)



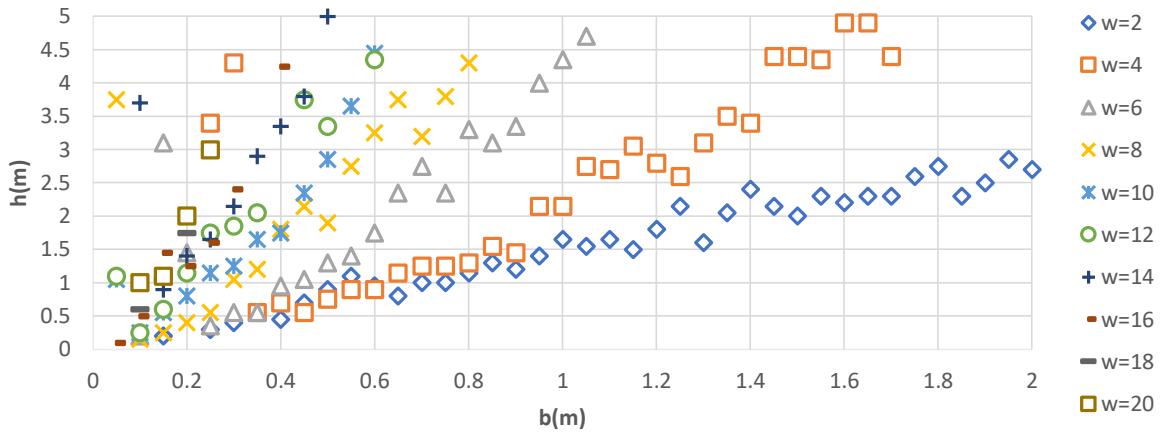
Equi-Aceleración=0.75g (MSAV) # de Impactos



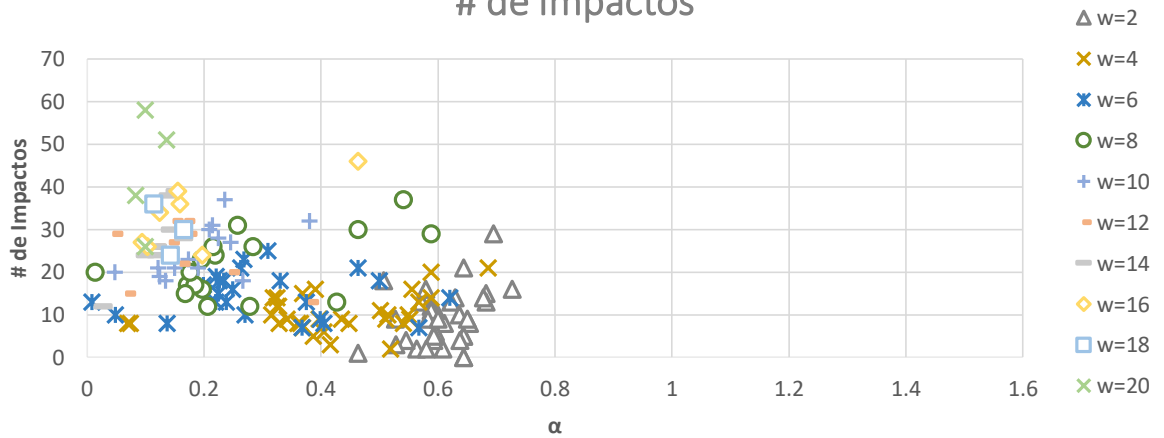
Equi-Aceleración=0.75g (MSAV) E_T



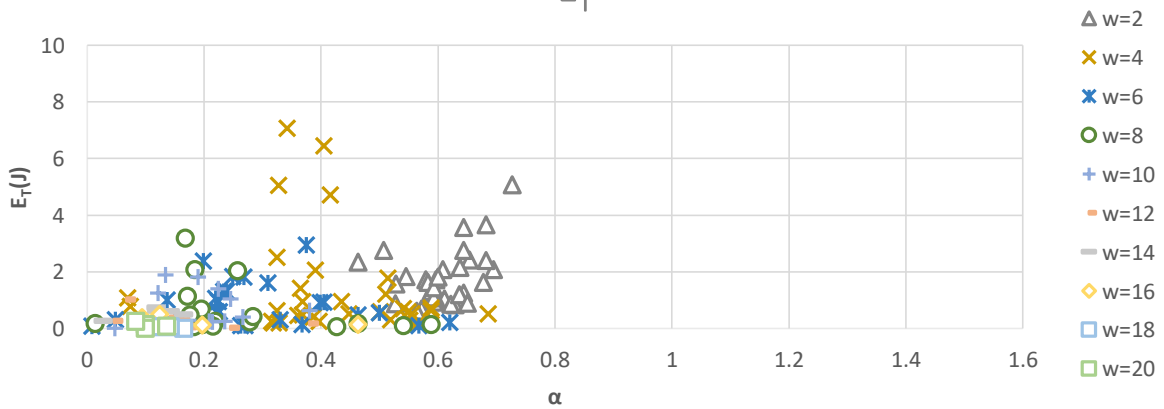
Equi-Aceleración=0.8g (MSAV)



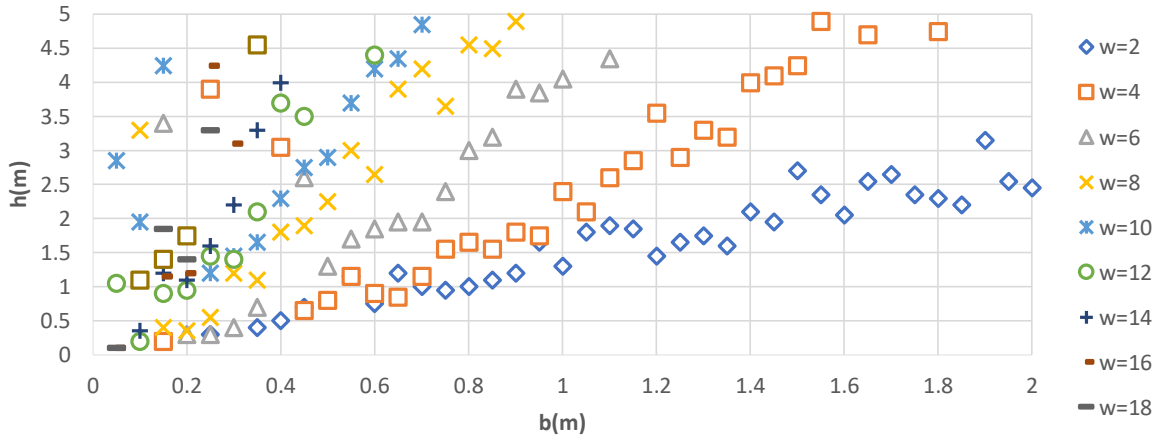
Equi-Aceleración=0.8g (MSAV)
de Impactos



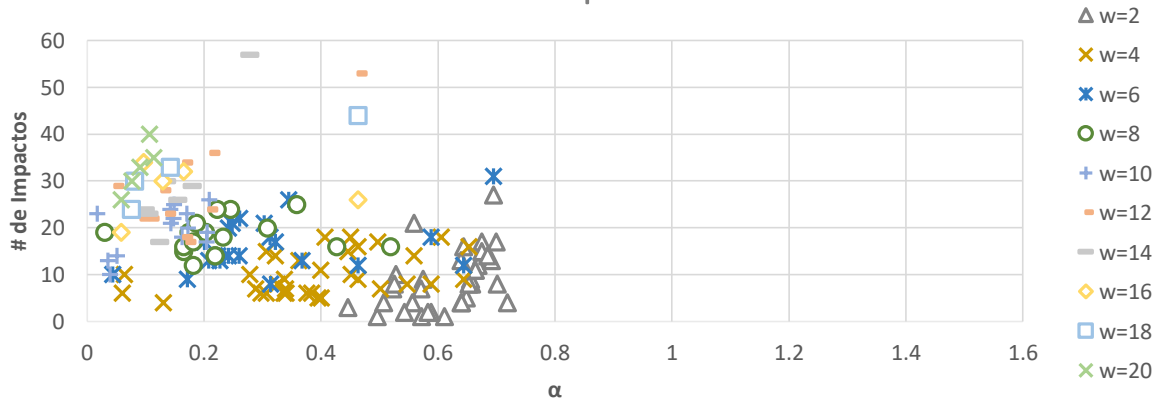
Equi-Aceleración=0.8g (MSAV)
 E_T



Equi-Aceleración=0.85g (MSAV)

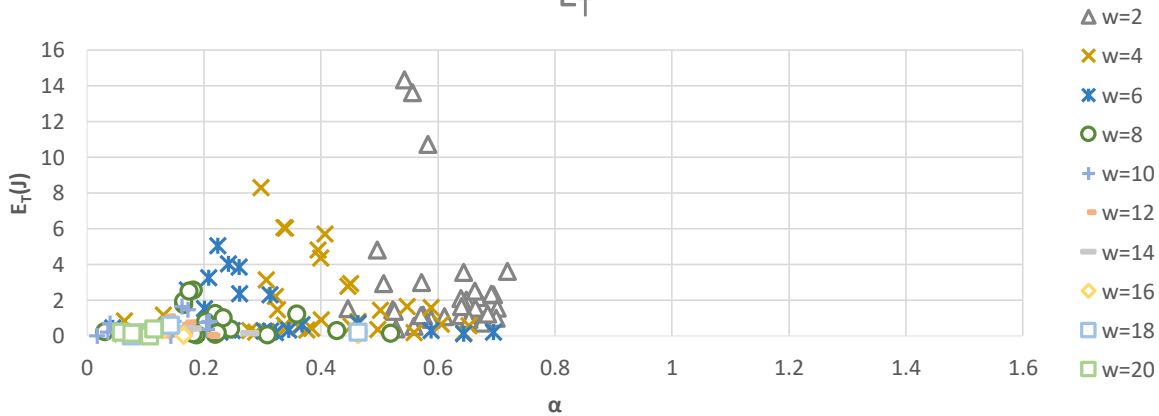


Equi-Aceleración=0.85g (MSAV) # de Impactos

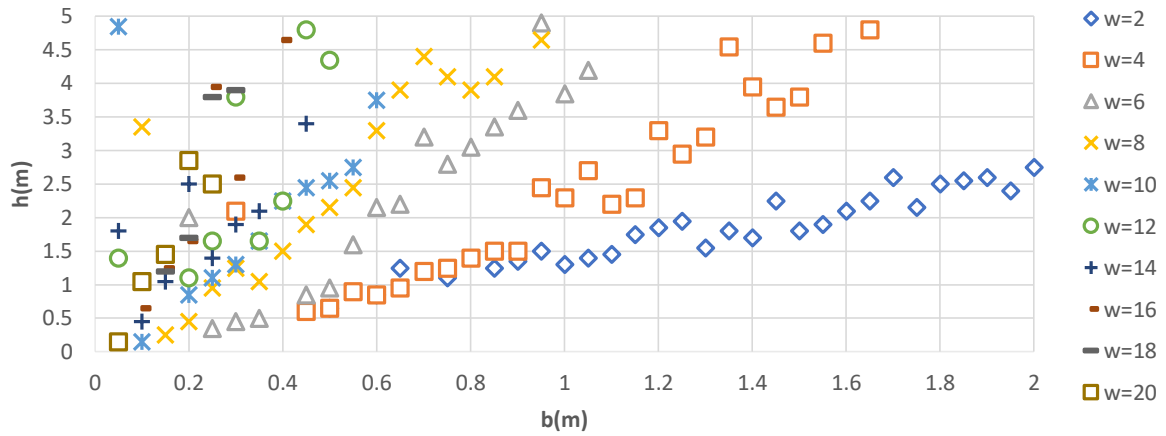


Equi-Aceleración=0.85g (MSAV)

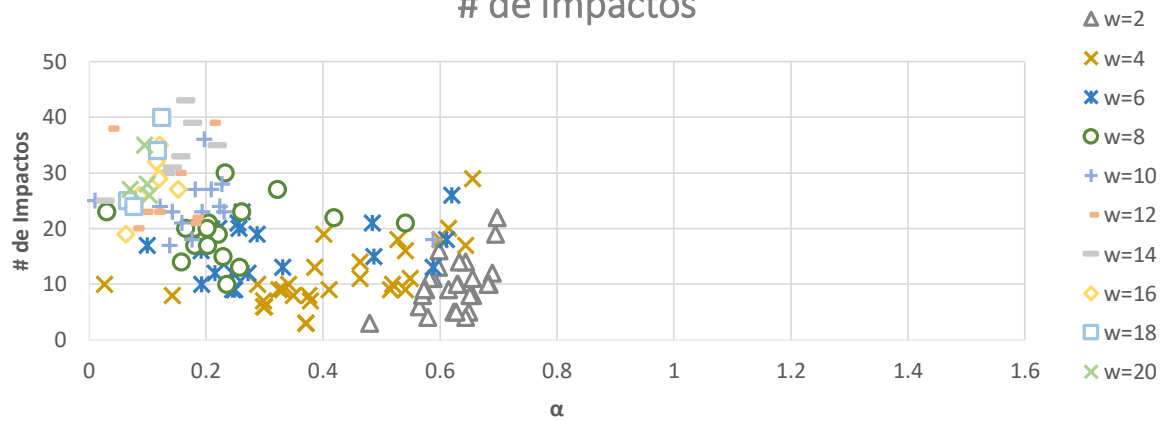
E_T



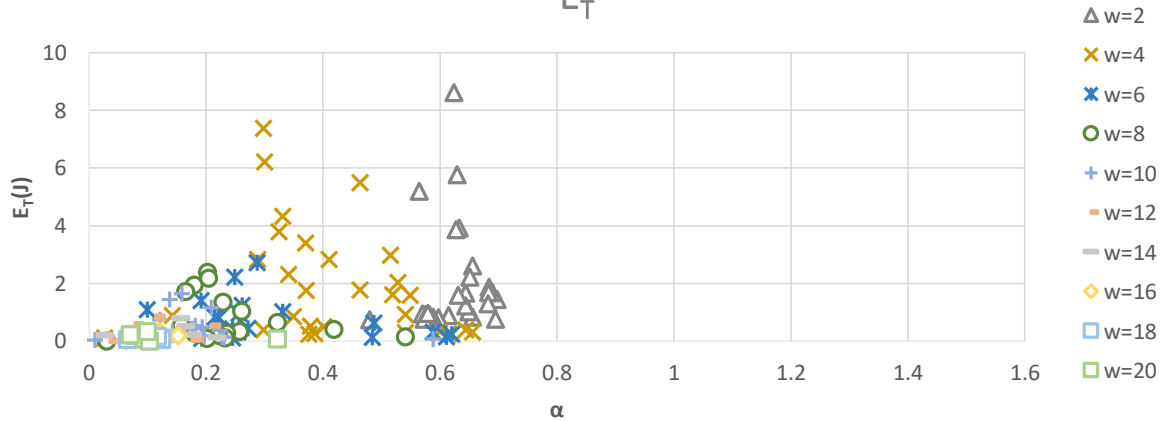
Equi-Aceleración=0.9g (MSAV)



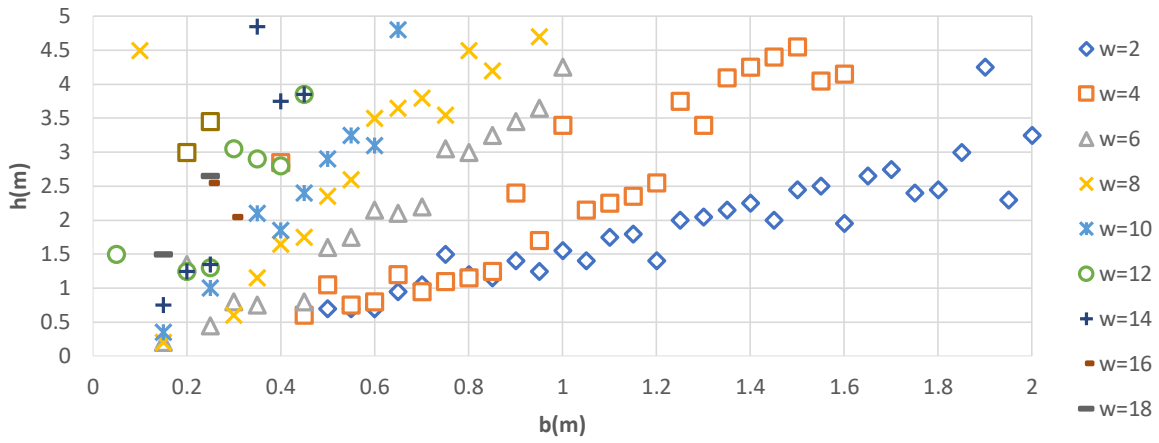
Equi-Aceleración=0.9g (MSAV)
de Impactos



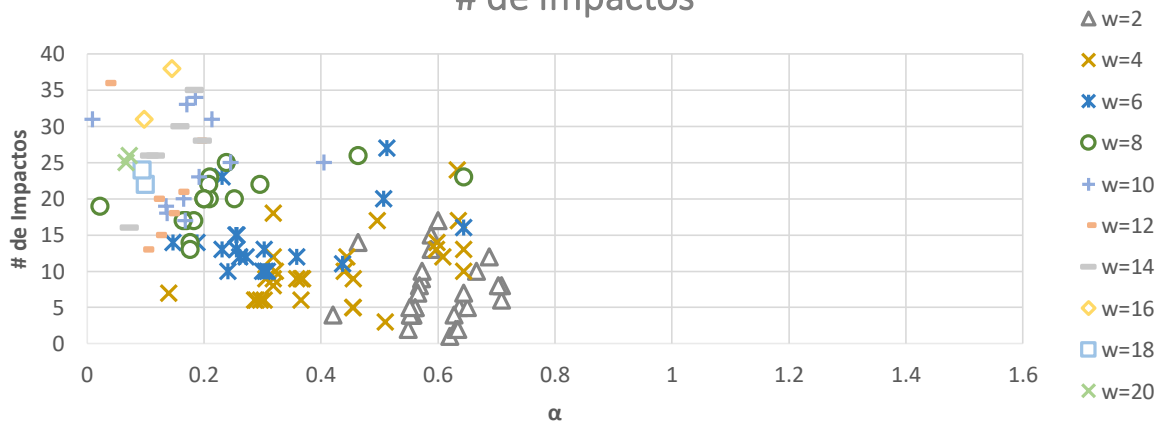
Equi-Aceleración=0.9g (MSAV)
 E_T



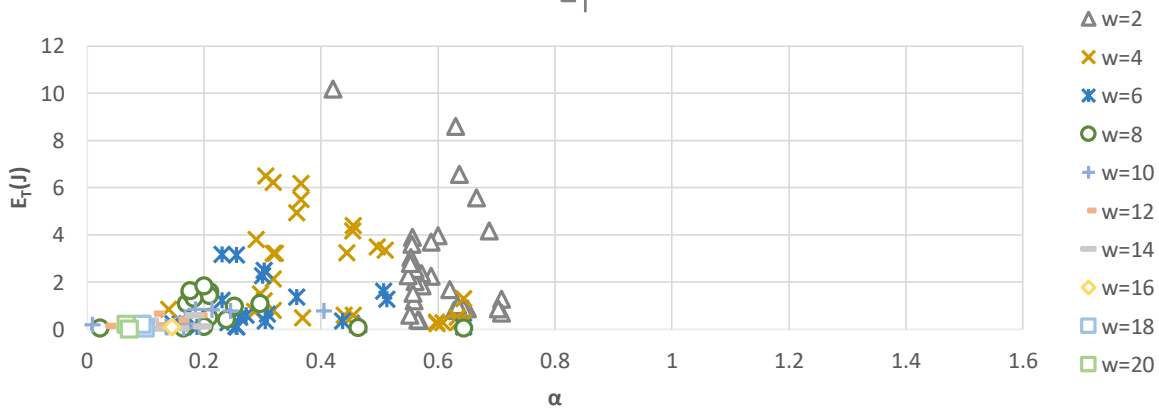
Equi-Aceleración=0.95g (MSAV)



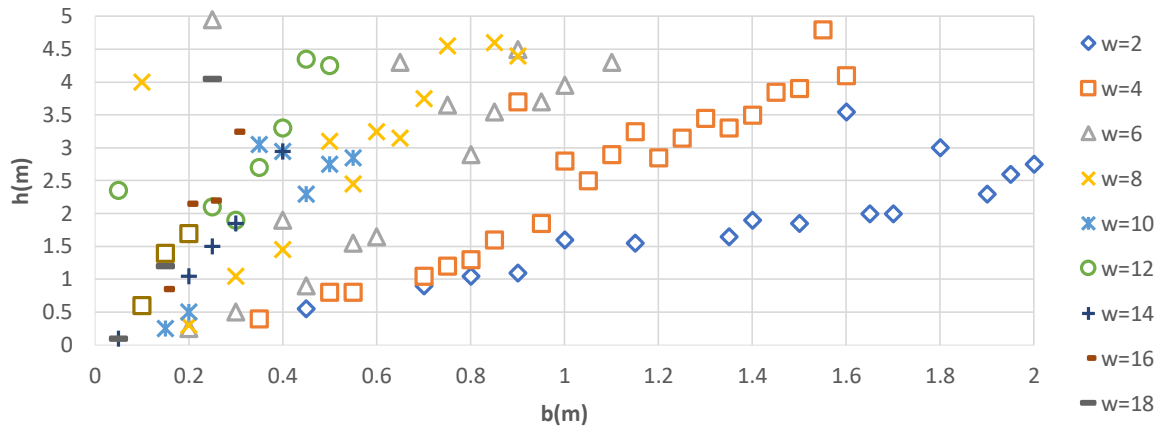
Equi-Aceleración=0.95g (MSAV)
de Impactos



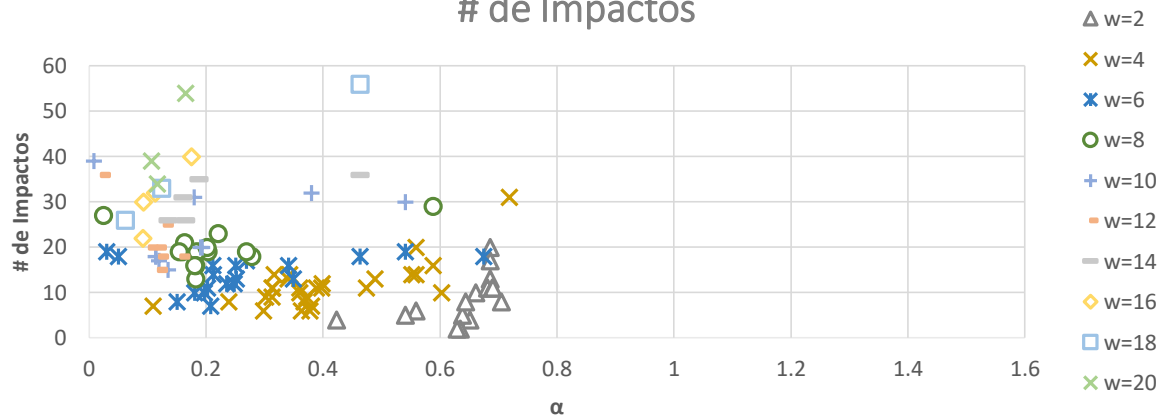
Equi-Aceleración=0.95g (MSAV)
 E_T



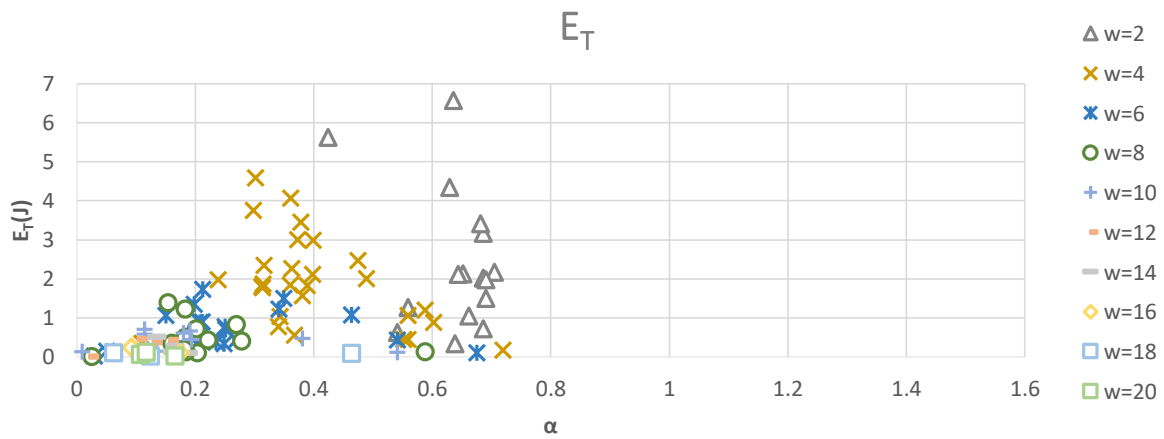
Equi-Aceleración=1g (MSAV)



Equi-Aceleración=1g (MSAV) # de Impactos

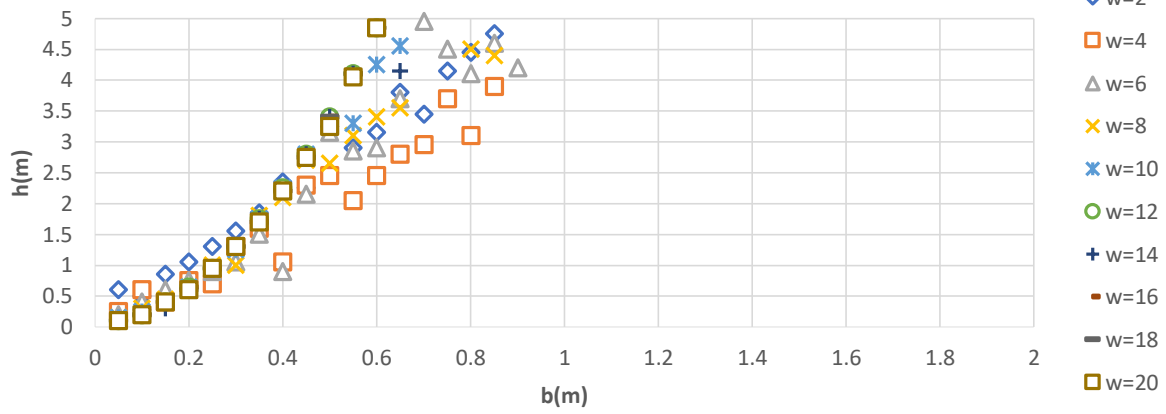


Equi-Aceleración=1g (MSAV)

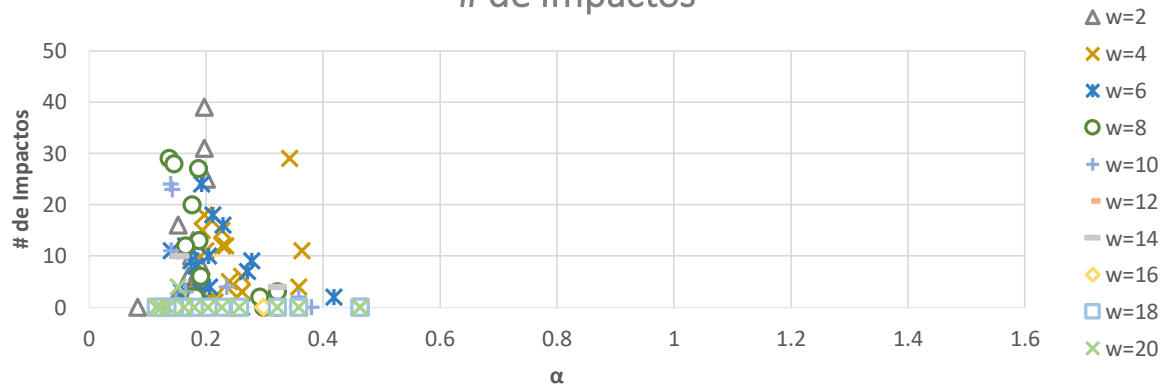


ANEXO 7

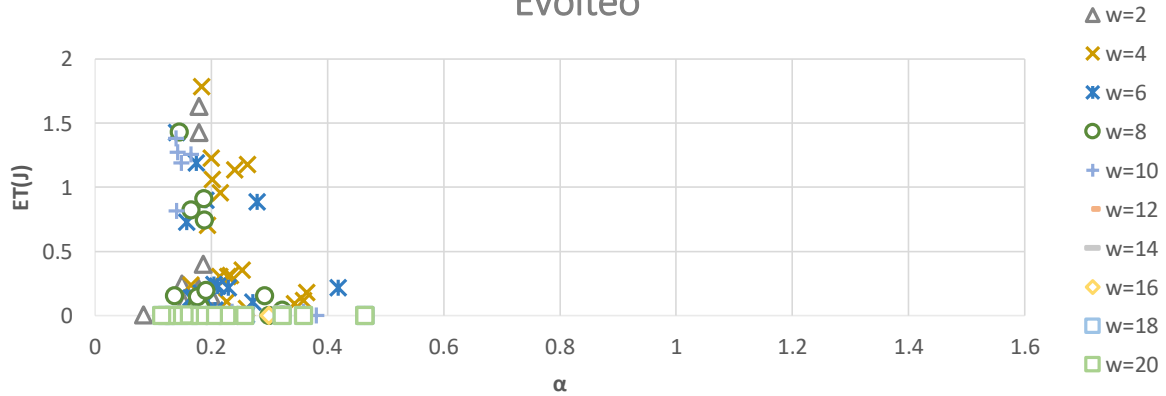
Equi-Velocidad=0.1 m/s (Seno)



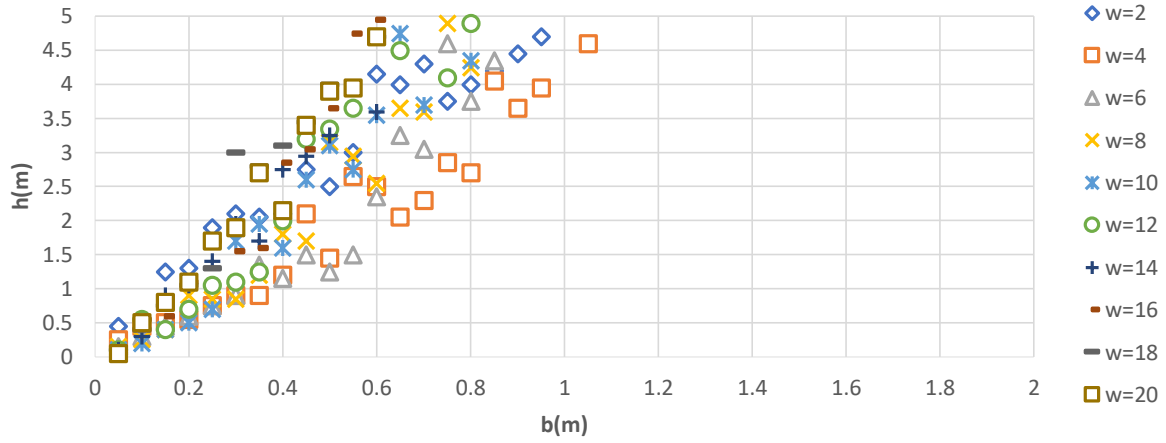
Equi-Velocidad=0.1 m/s (Seno) # de Impactos



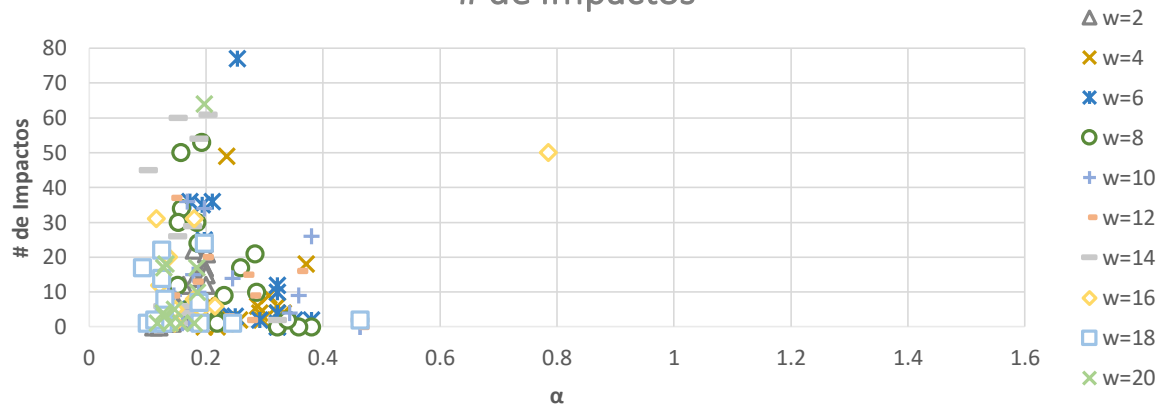
Equi-Velocidad=0.1 m/s (Seno) Evolteo



Equi-Velocidad=0.2 m/s (Seno)

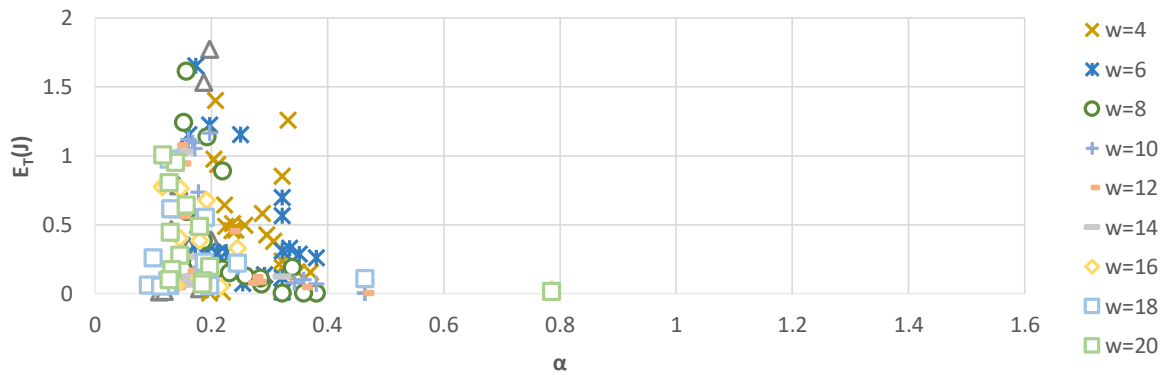


Equi-Velocidad=0.2 m/s (Seno)
de Impactos

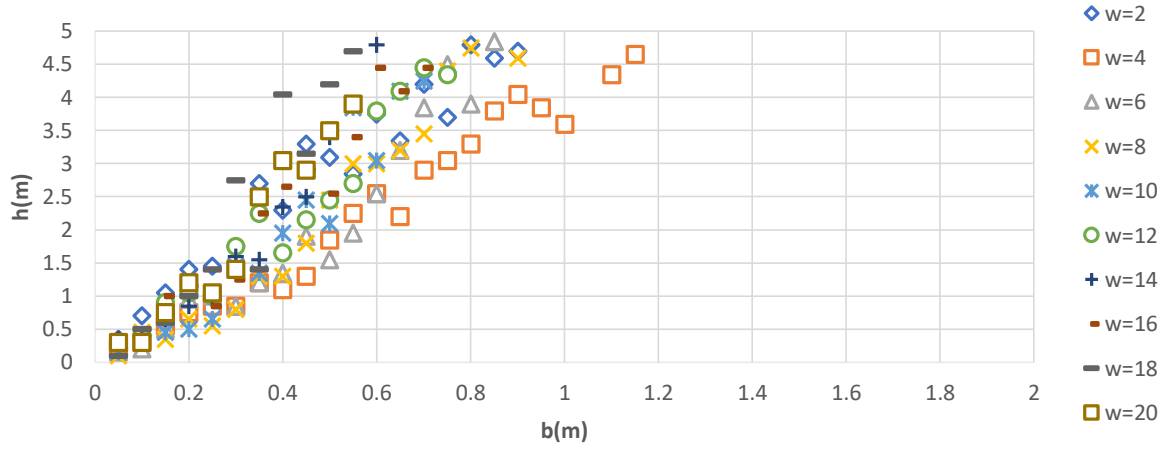


Equi-Velocidad=0.2 m/s (Seno)

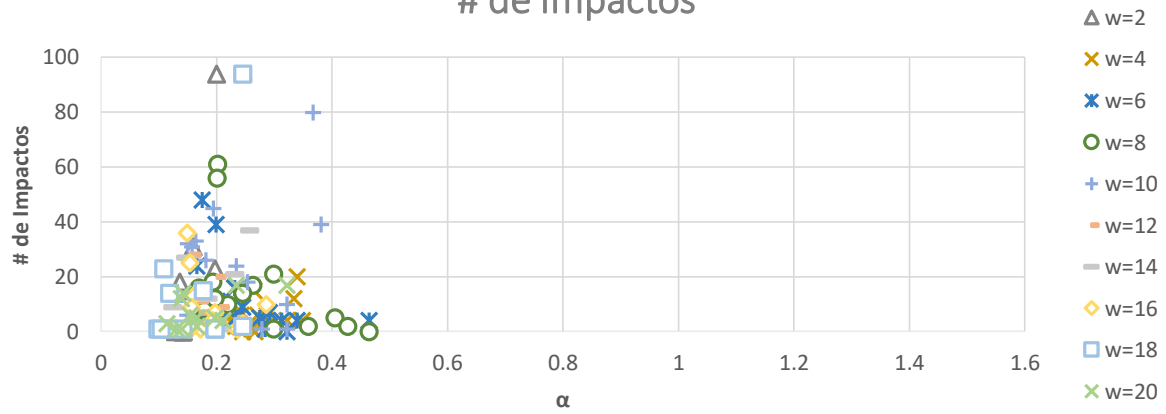
E_T



Equi-Velocidad=0.3 m/s (Seno)

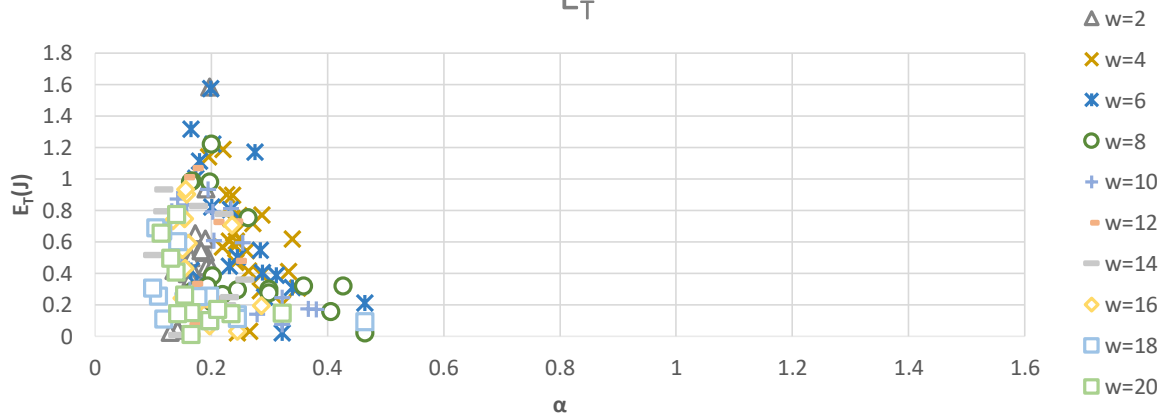


Equi-Velocidad=0.3 m/s (Seno)
de Impactos

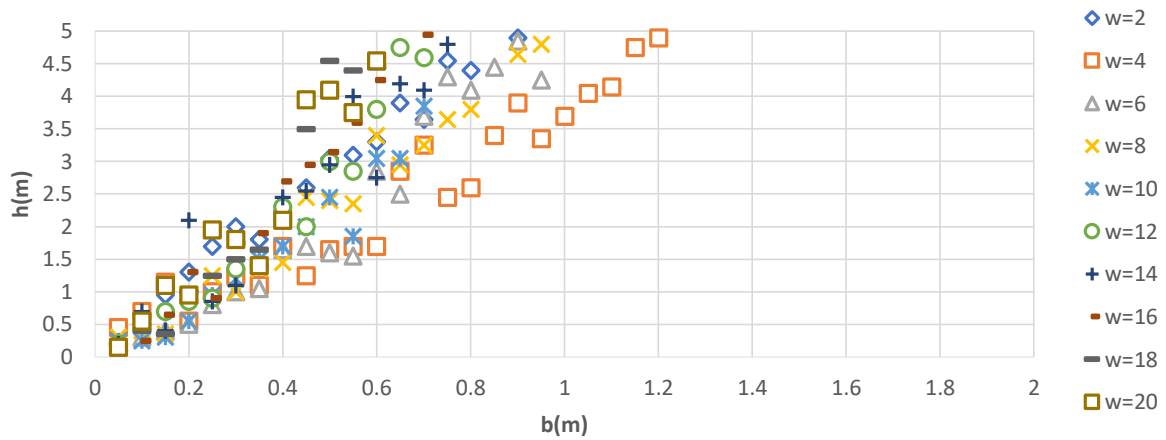


Equi-Velocidad=0.3 m/s (Seno)

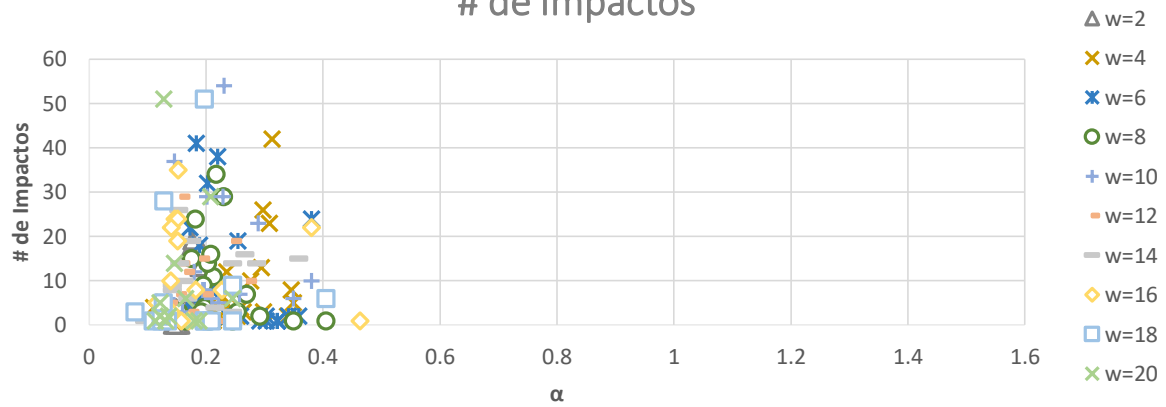
E_T



Equi-Velocidad=0.4 m/s (Seno)

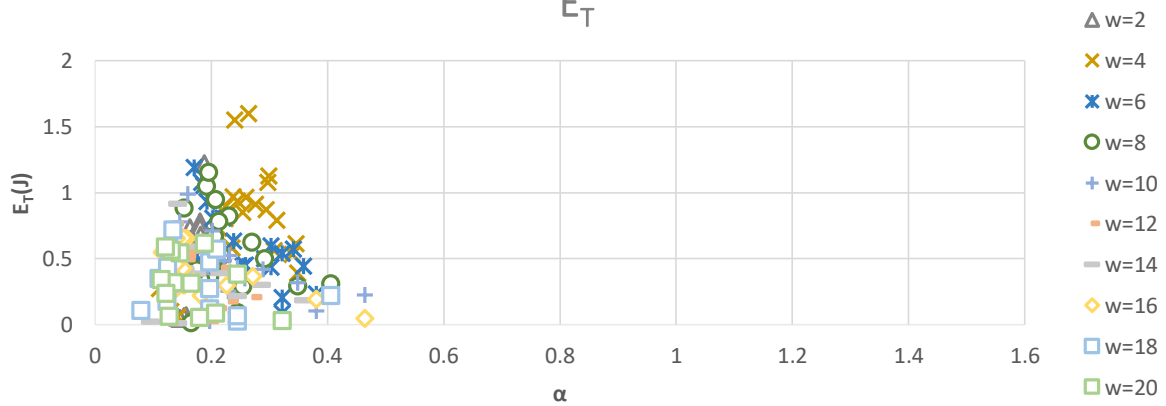


Equi-Velocidad=0.4 m/s (Seno)
de Impactos

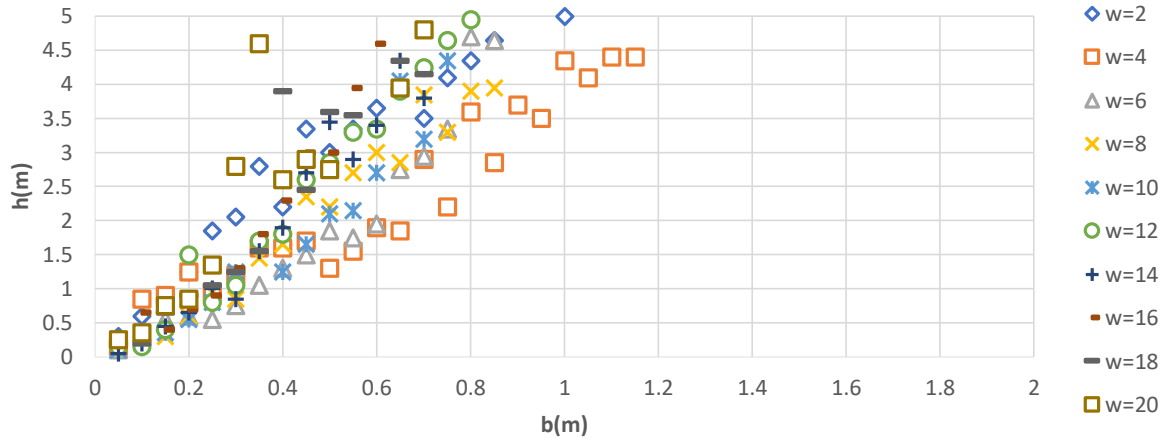


Equi-Velocidad=0.4 m/s (Seno)

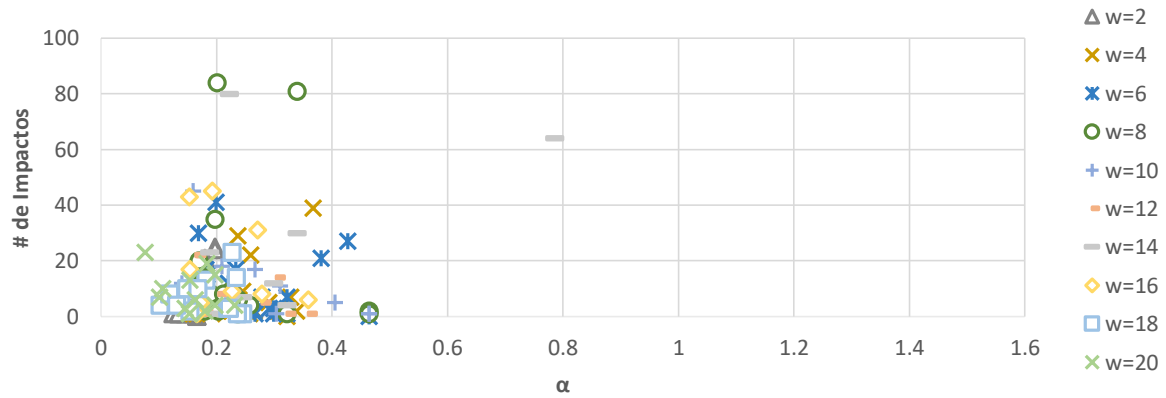
E_T



Equi-Velocidad=0.5 m/s (Seno)

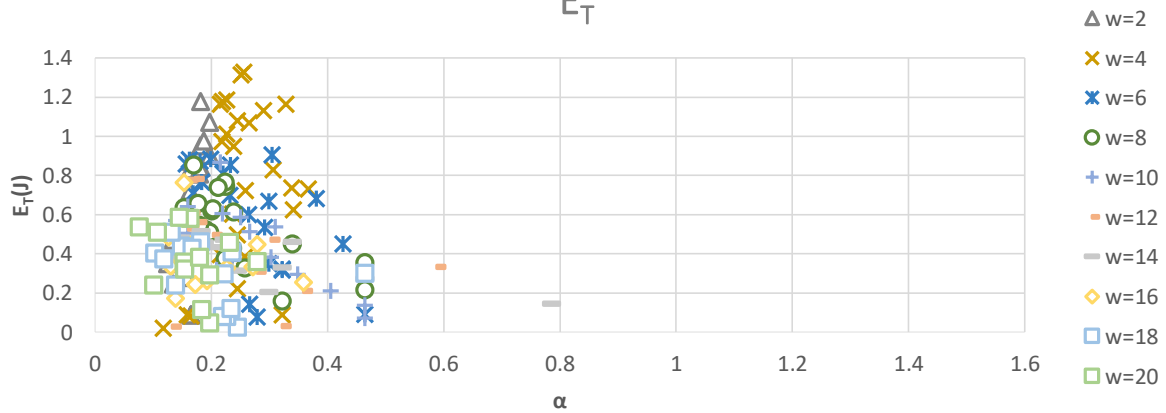


de Impactos(α)

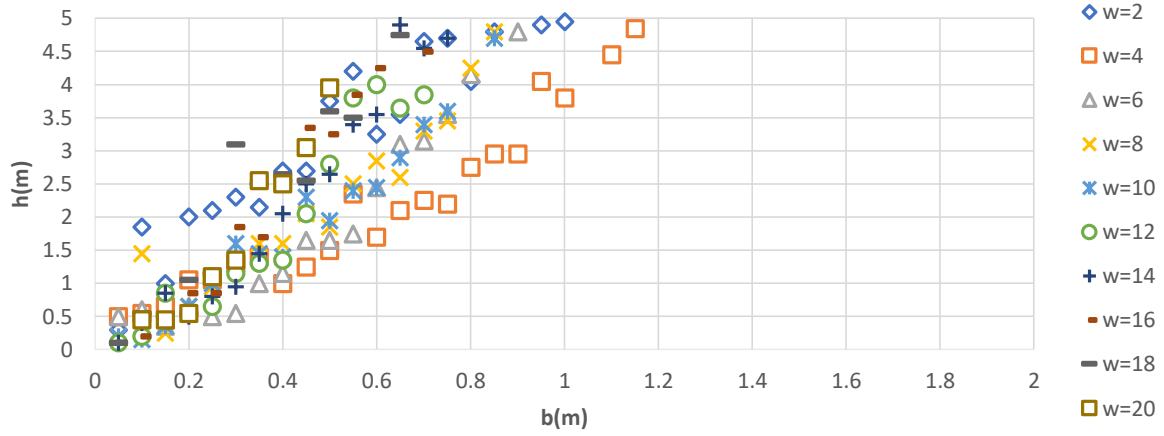


Equi-Velocidad=0.5 m/s (Seno)

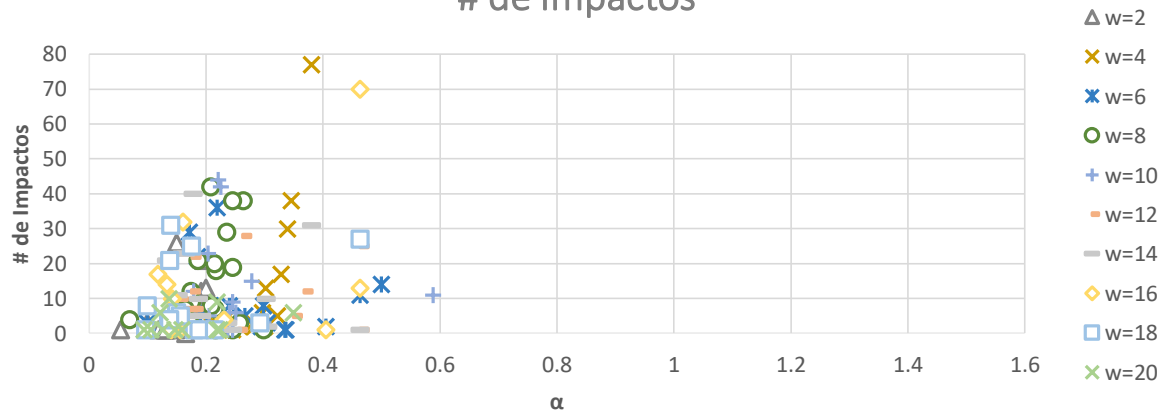
E_T



Equi-Velocidad=0.6 m/s (Seno)

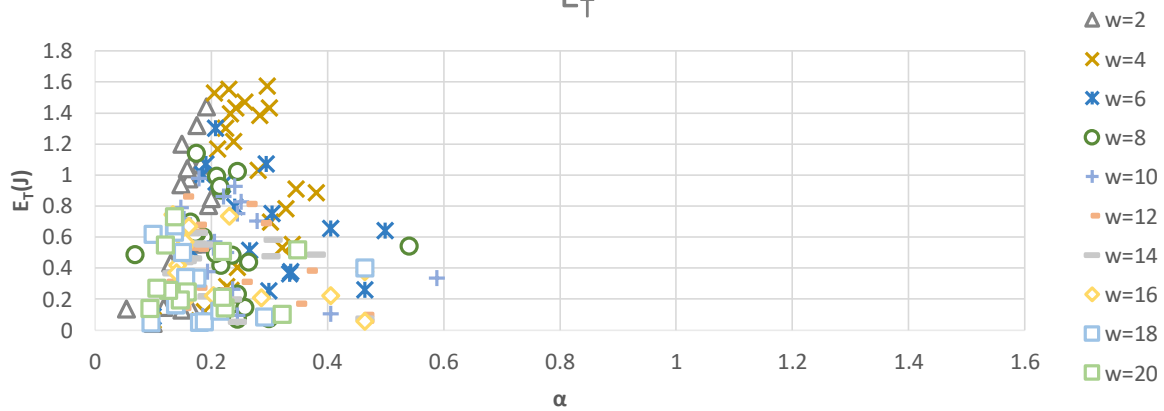


Equi-Velocidad=0.6 m/s (Seno)
de Impactos

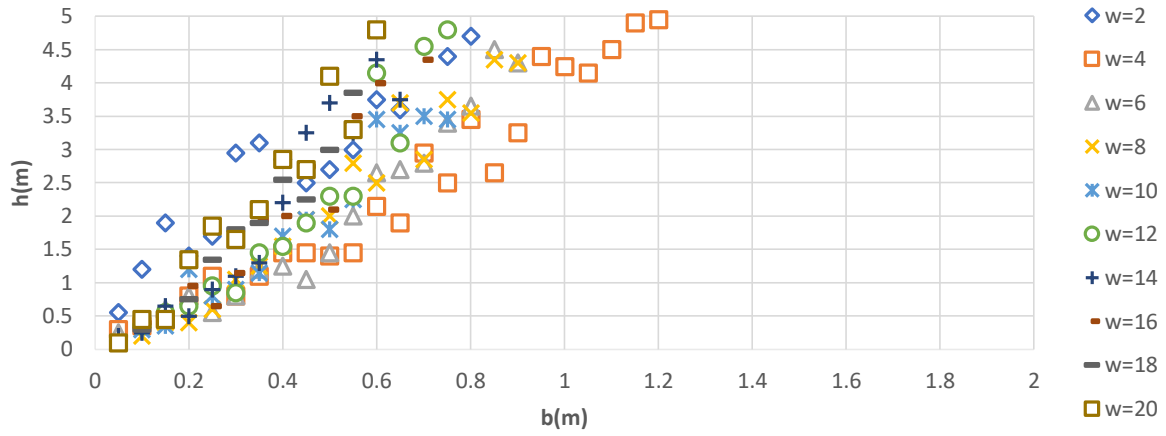


Equi-Velocidad=0.6 m/s (Seno)

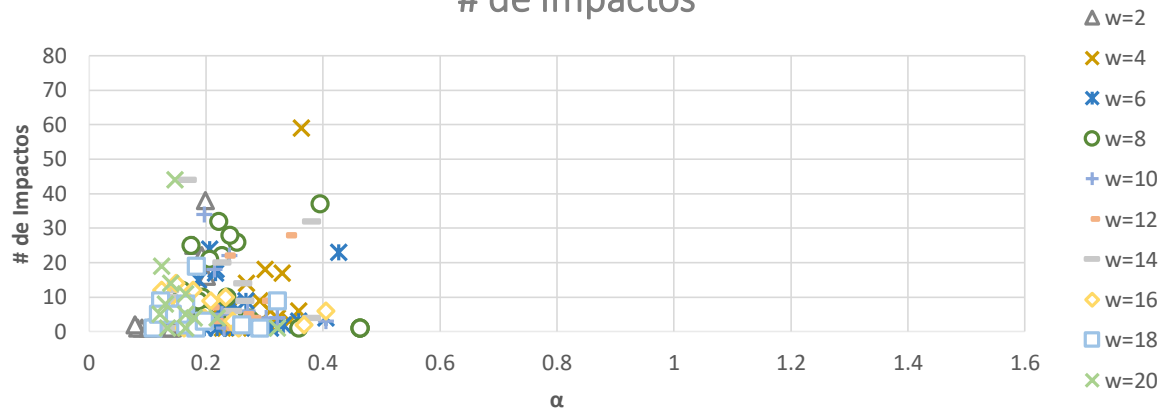
E_T



Equi-Velocidad=0.7 m/s (Seno)

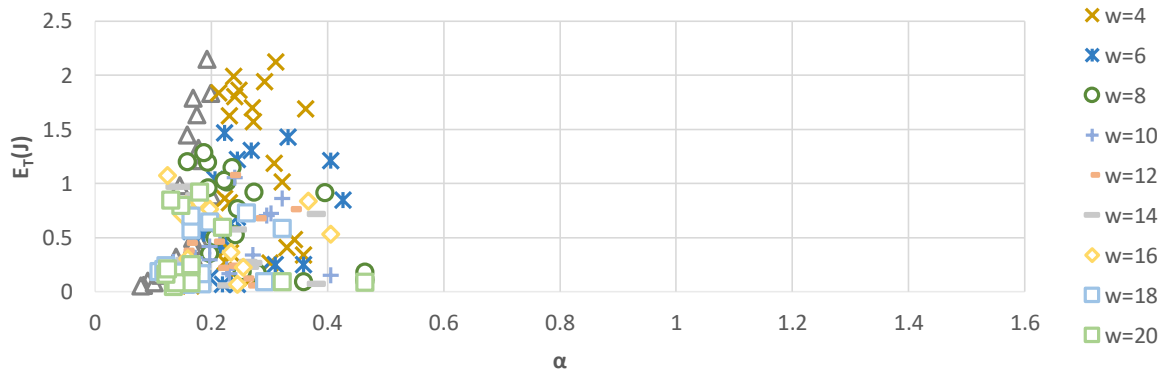


Equi-Velocidad=0.7 m/s (Seno)
de Impactos

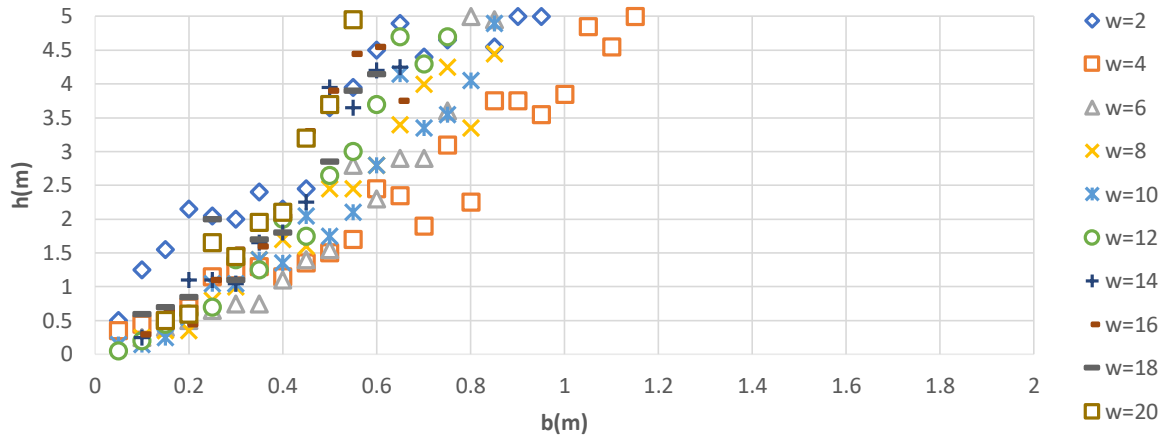


Equi-Velocidad=0.7 m/s (Seno)

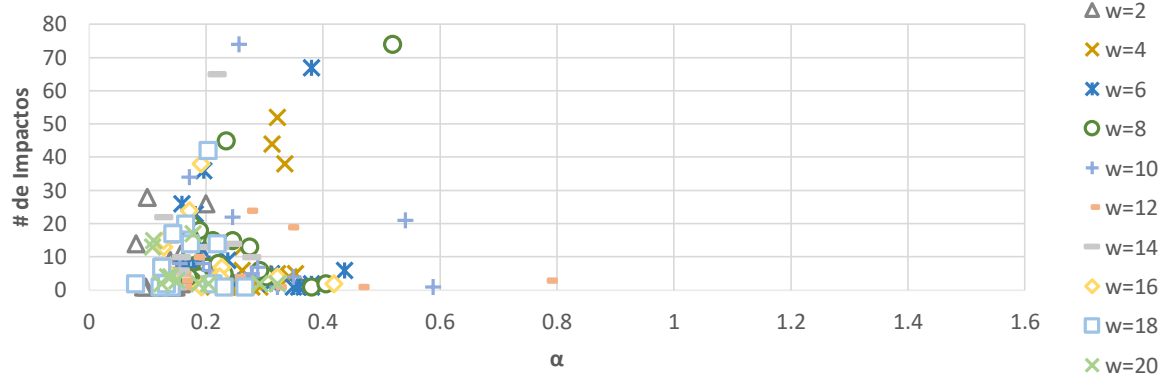
E_T



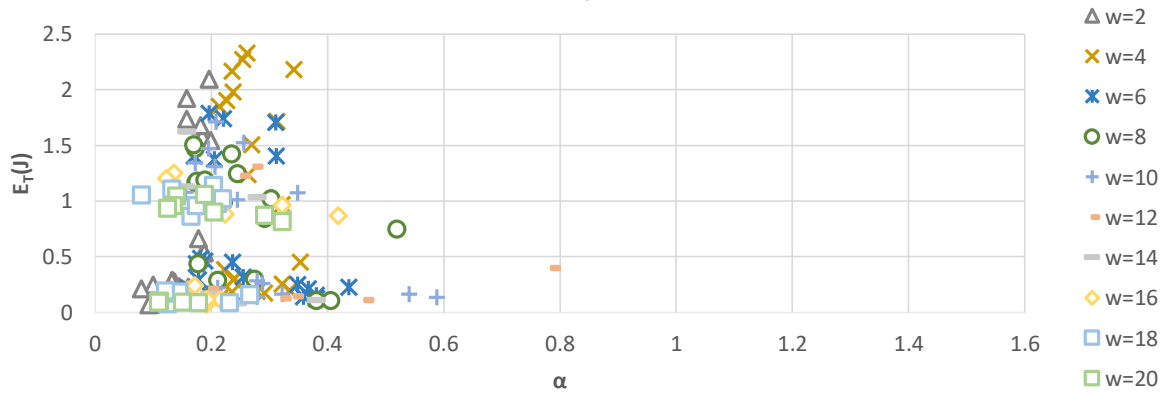
Equi-Velocidad=0.8 m/s (Seno)



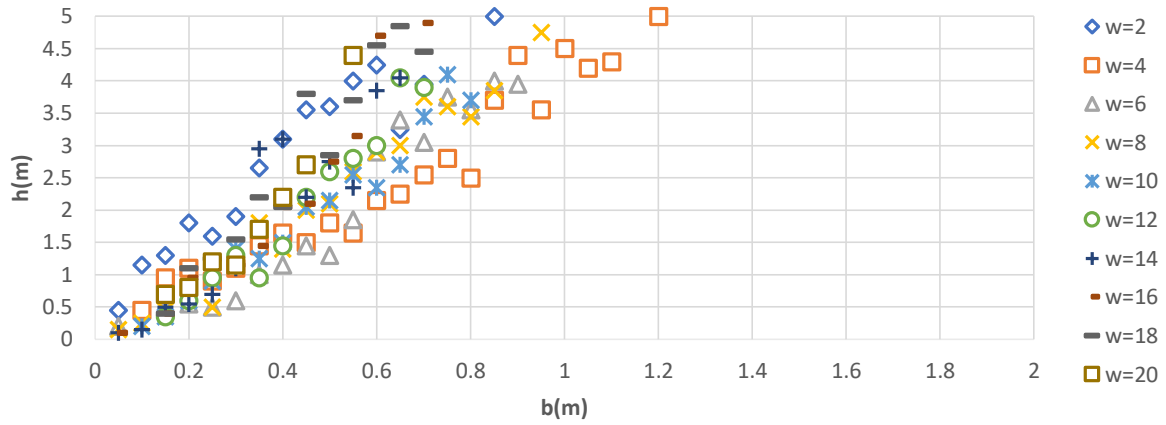
Equi-Velocidad=0.8 m/s (Seno)
de Impactos



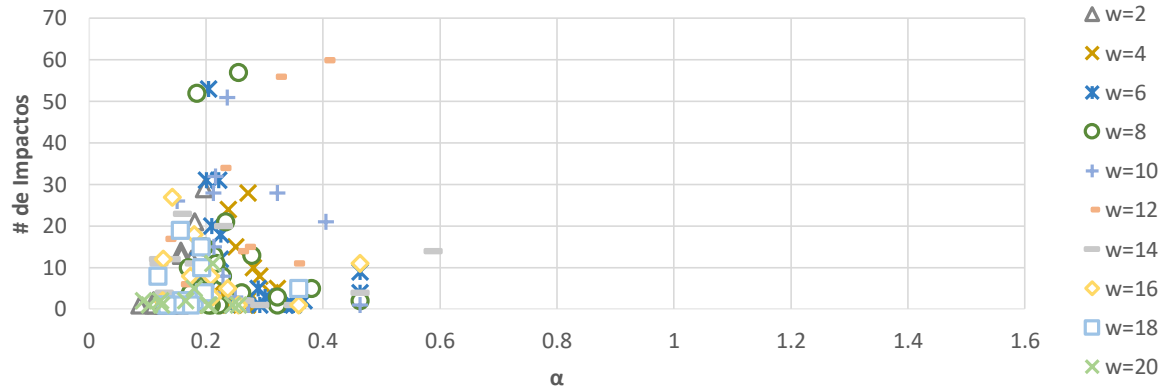
Equi-Velocidad=0.8 m/s (Seno)
 E_T



Equi-Velocidad=0.9 m/s (Seno)

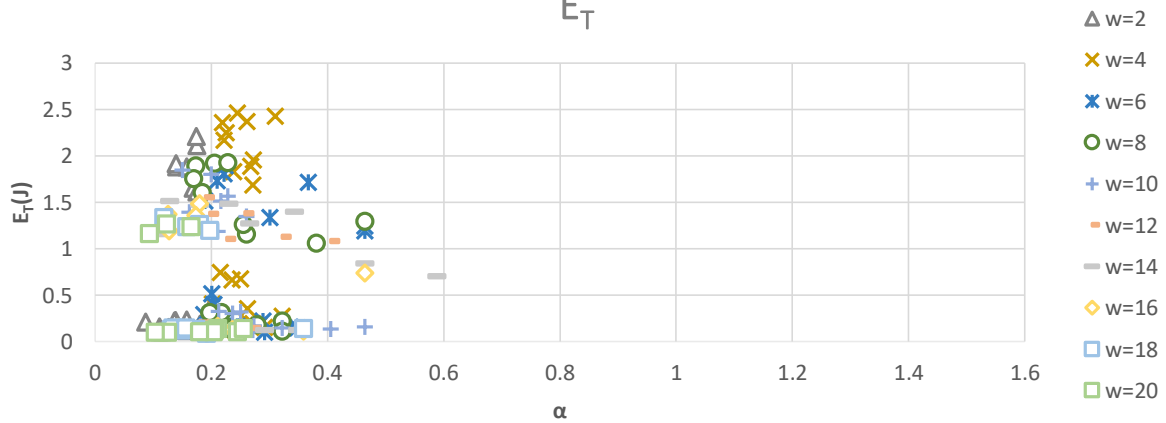


Equi-Velocidad=0.9 m/s (Seno)
de Impactos

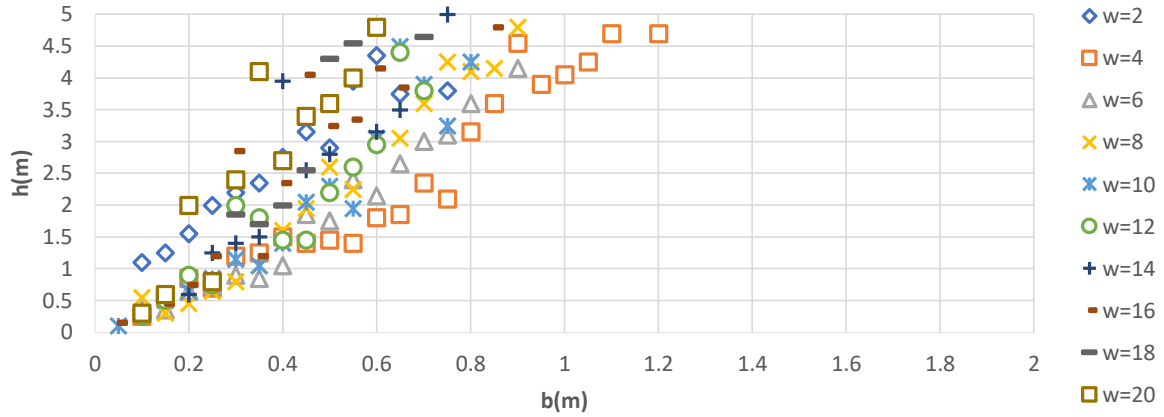


Equi-Velocidad=0.9 m/s (Seno)

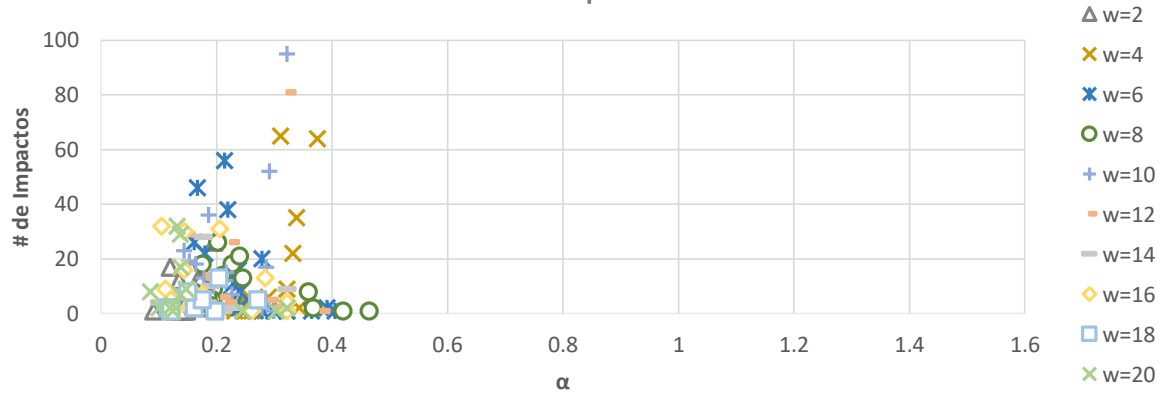
E_T



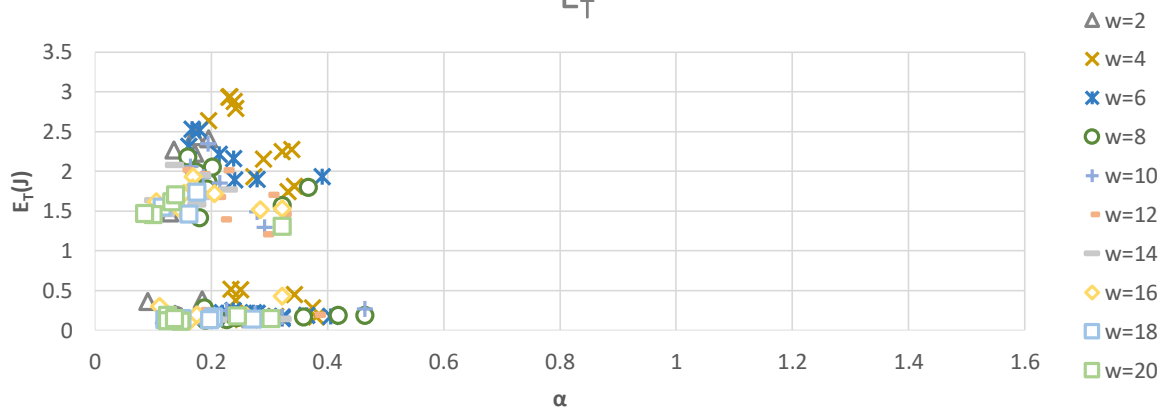
Equi-Velocidad=1 m/s (Seno)



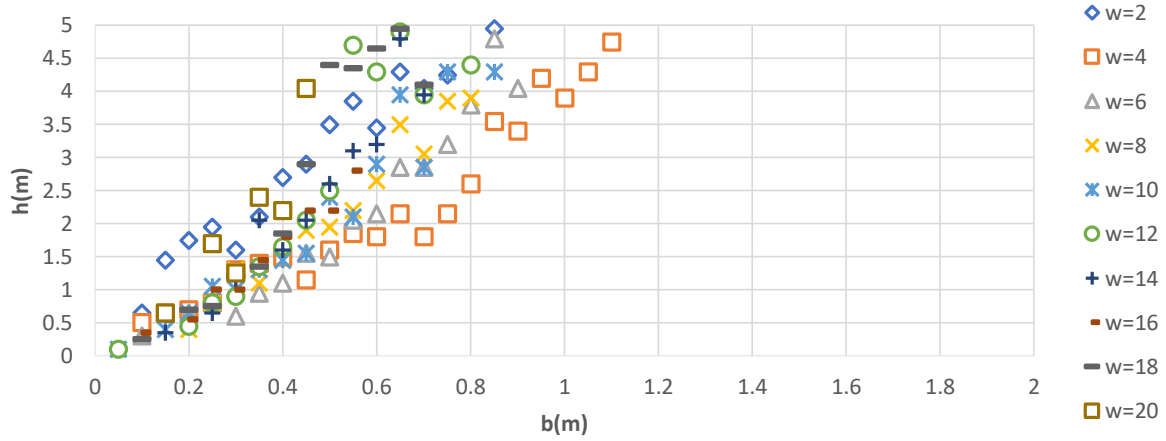
Equi-Velocidad=1 m/s (Seno)
de Impactos



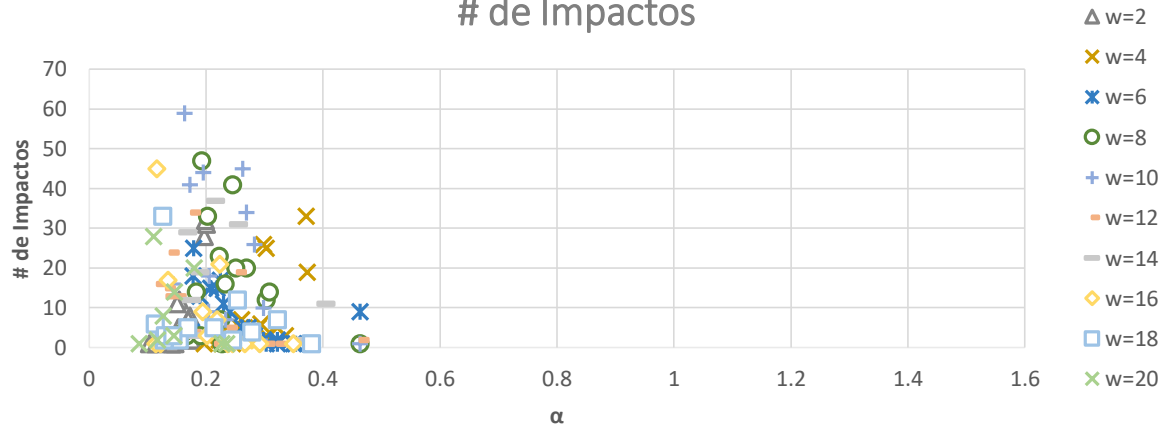
Equi-Velocidad=1 m/s (Seno)
 E_T



Equi-Velocidad=1.1 m/s (Seno)

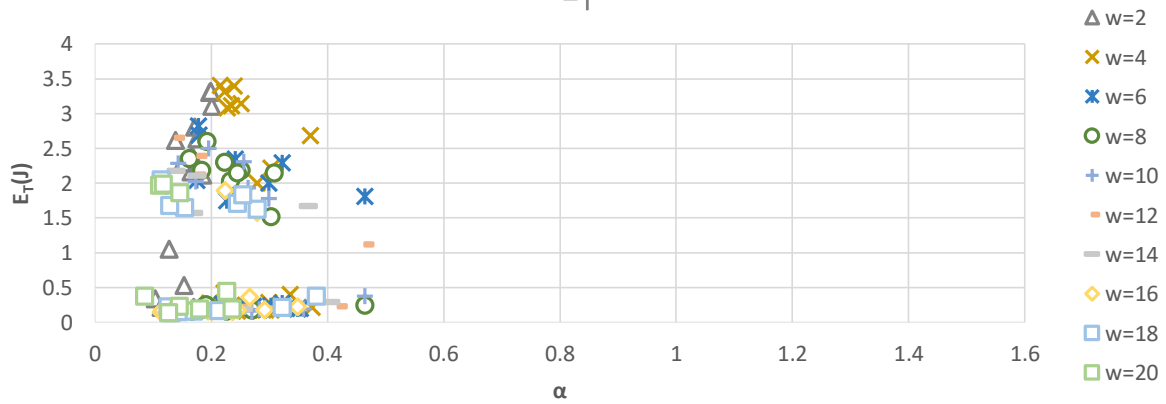


Equi-Velocidad=1.1 m/s (Seno)
de Impactos

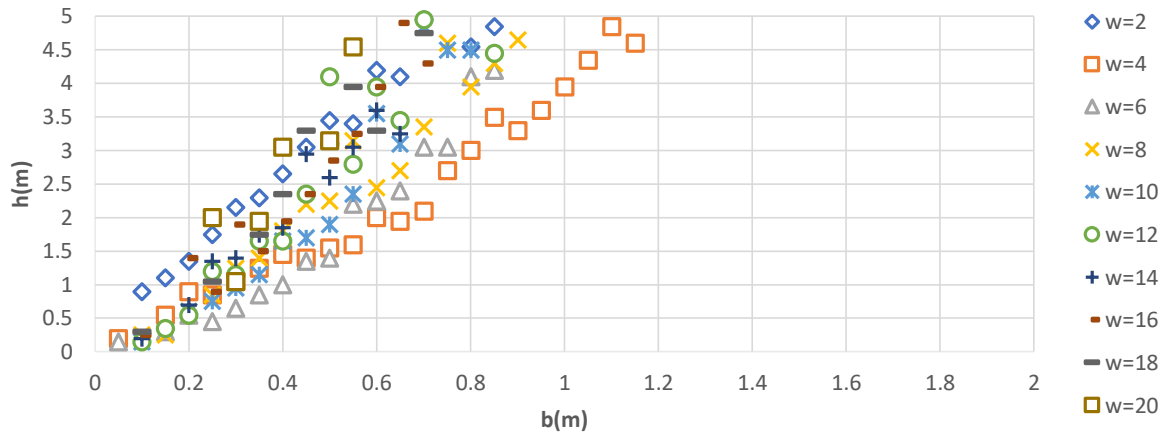


Equi-Velocidad=1.1 m/s (Seno)

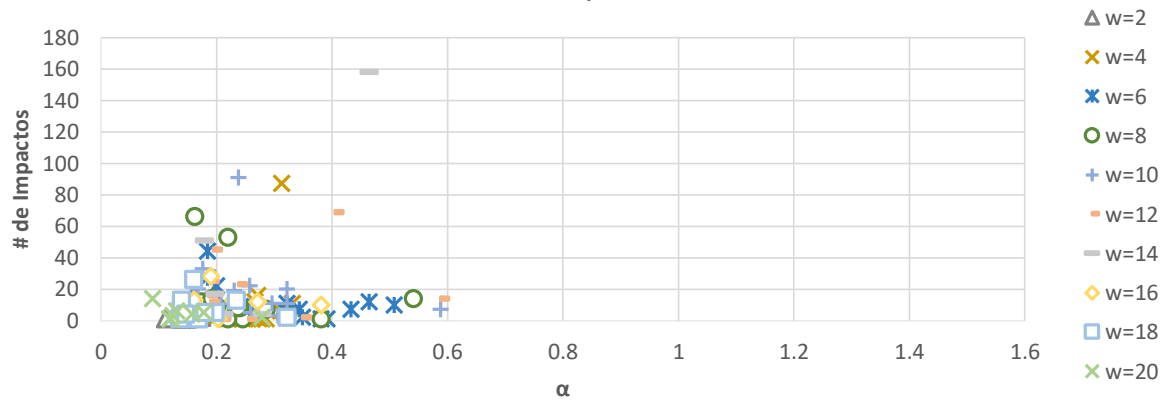
E_T



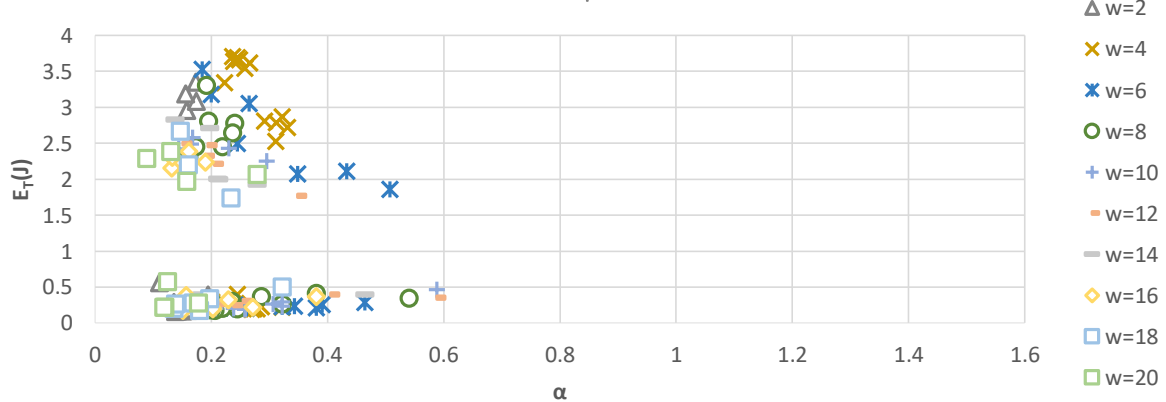
Equi-Velocidad=1.2 m/s (Seno)



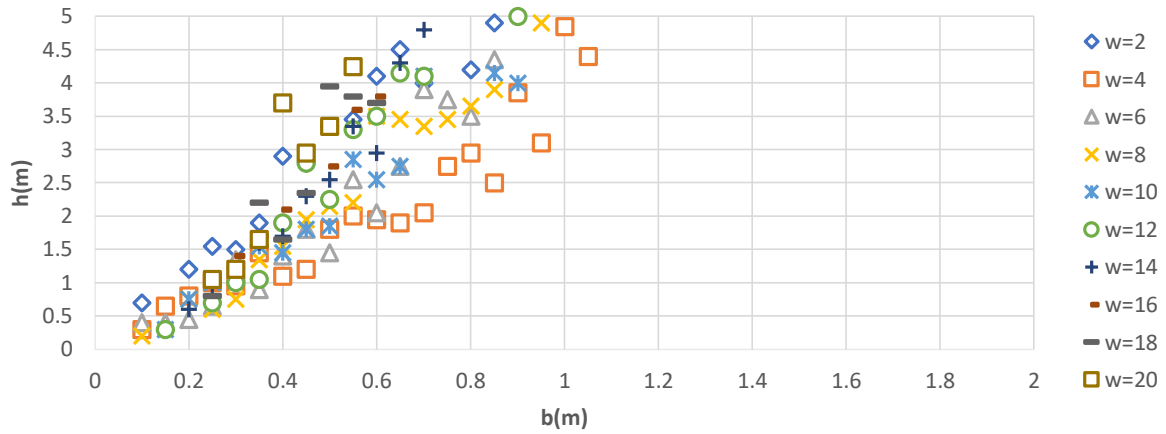
Equi-Velocidad=1.2 m/s (Seno)
de Impactos



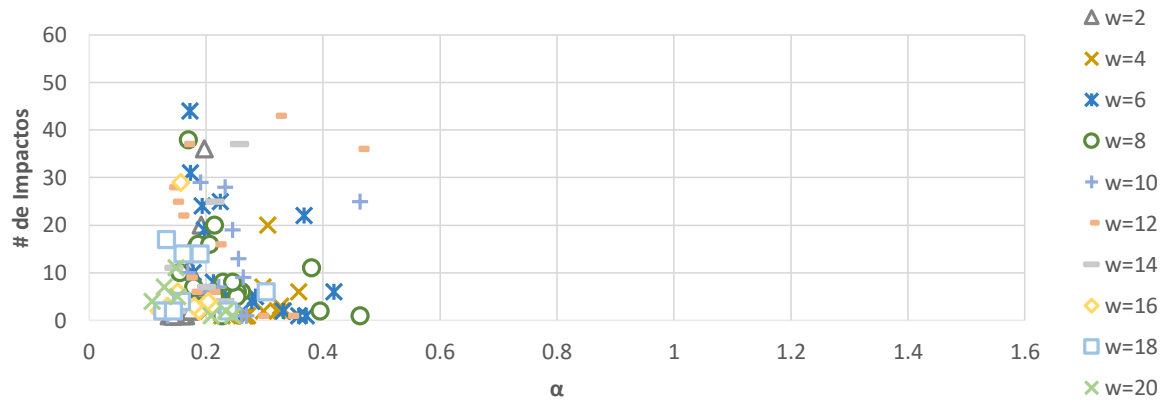
Equi-Velocidad=1.2 m/s (Seno)
 E_T



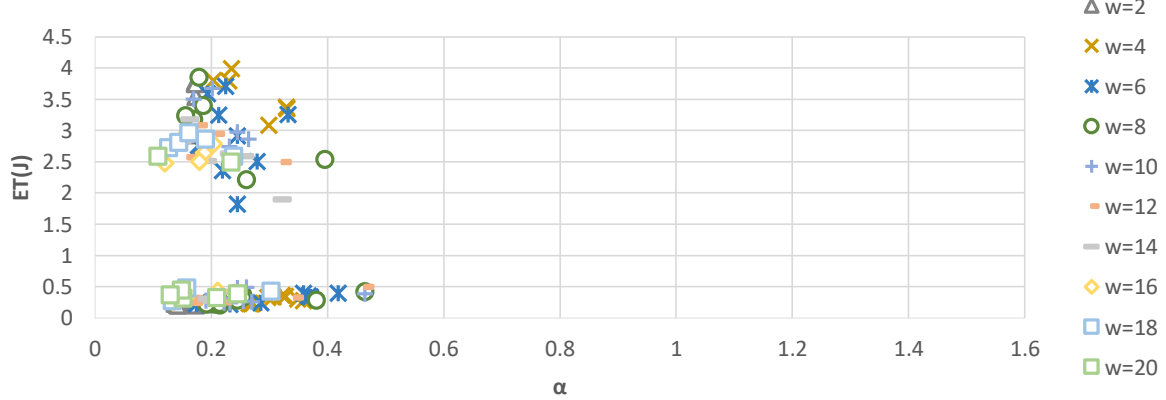
Equi-Velocidad=1.3 m/s (Seno)



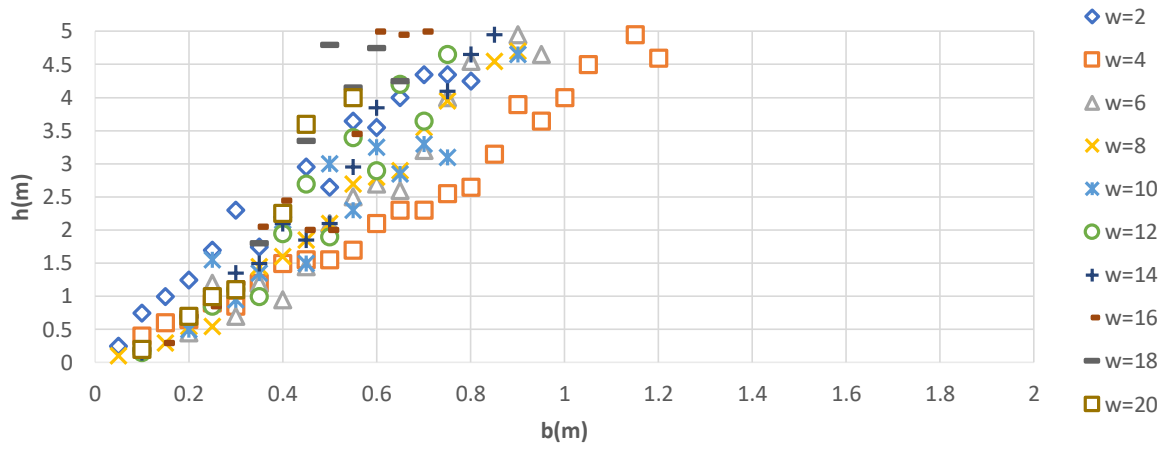
Equi-Velocidad=1.3 m/s (Seno)
de Impactos



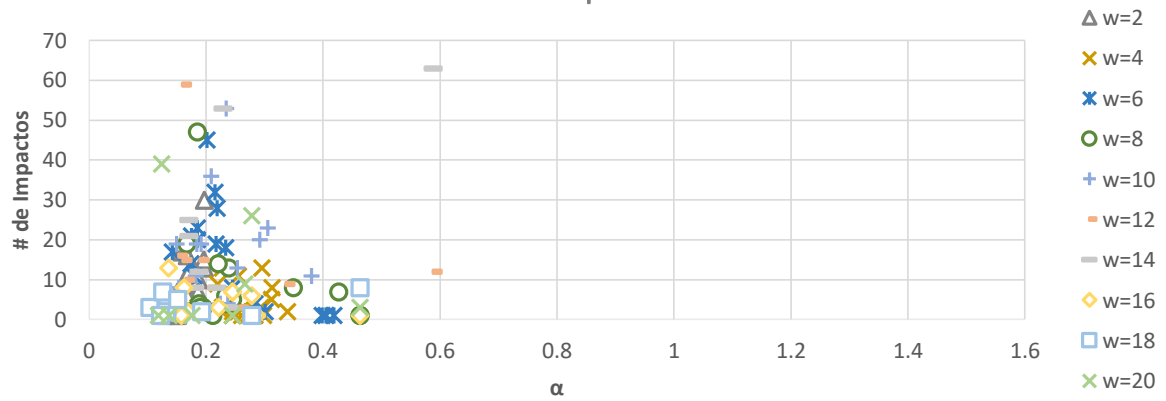
Equi-Velocidad=1.3 m/s (Seno)
Evolteo



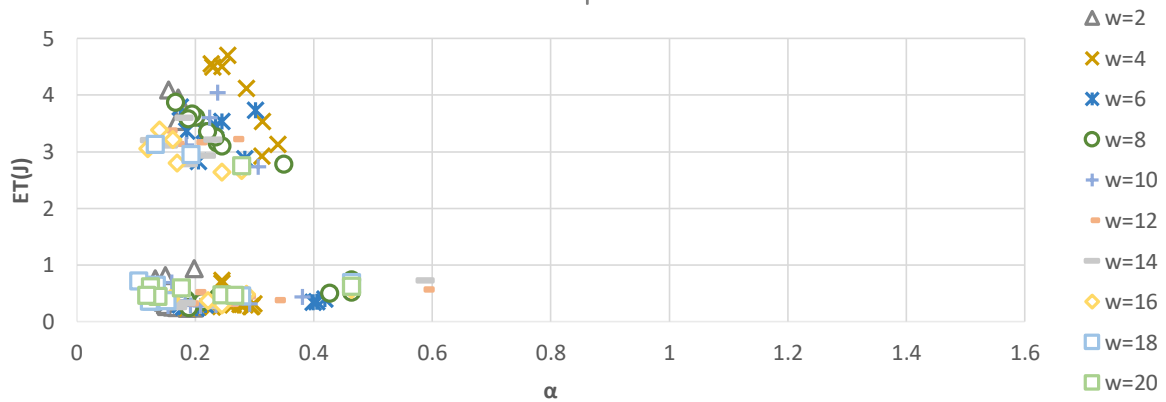
Equi-Velocidad=1.4 m/s (Seno)



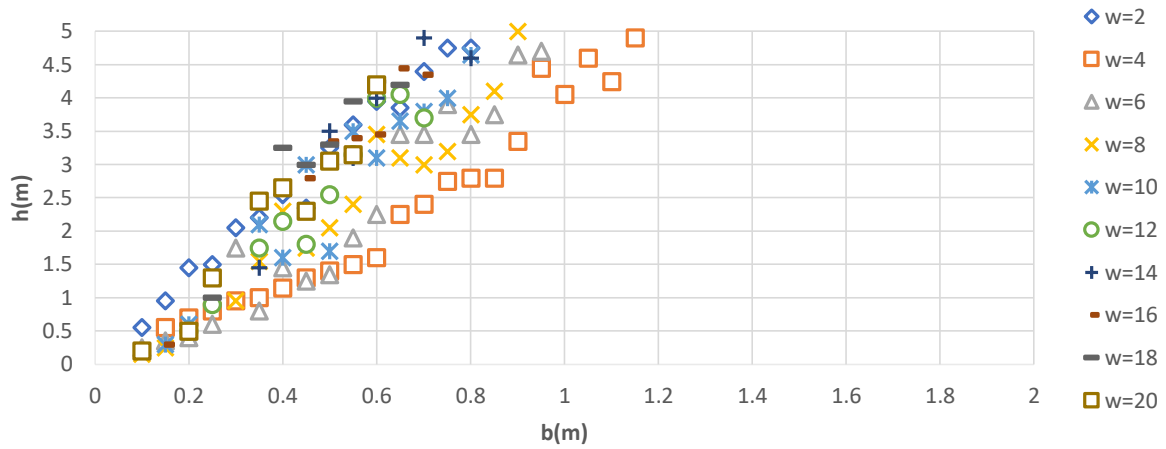
Equi-Velocidad=1.4 m/s (Seno)
de Impactos



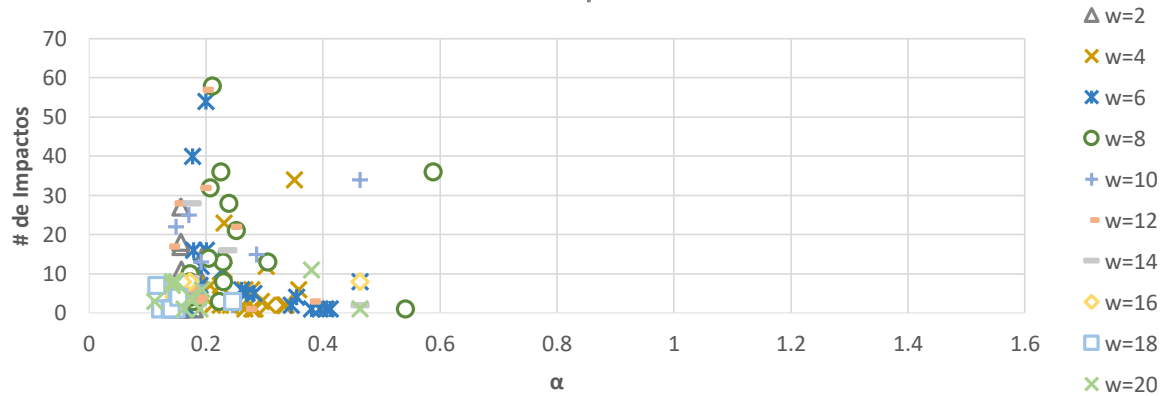
Equi-Velocidad=1.4 m/s (Seno)
 E_T



Equi-Velocidad=1.5 m/s (Seno)

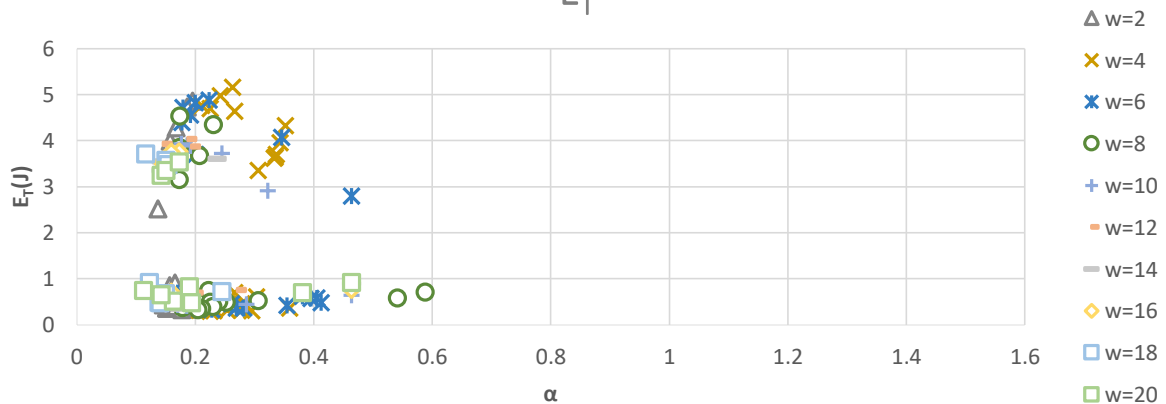


Equi-Velocidad=1.5 m/s (Seno)
de Impactos

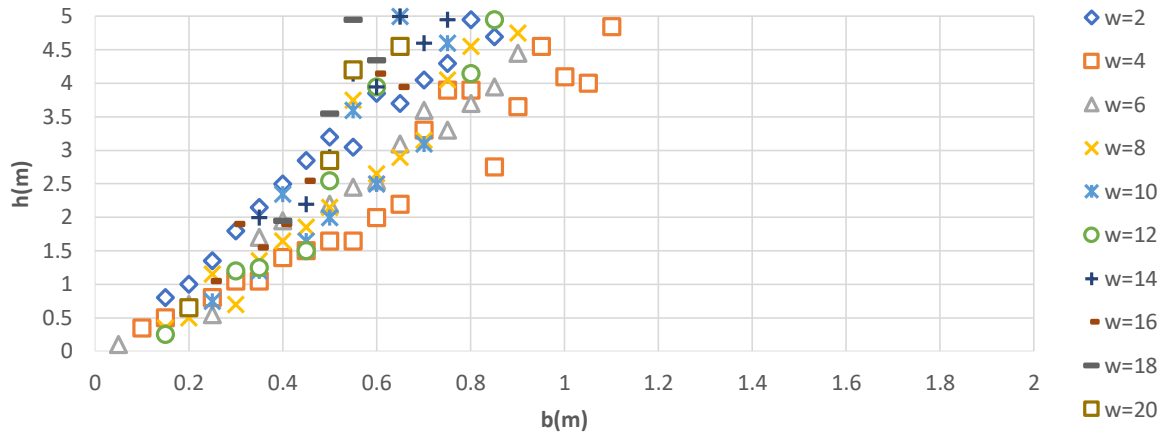


Equi-Velocidad=1.5 m/s (Seno)

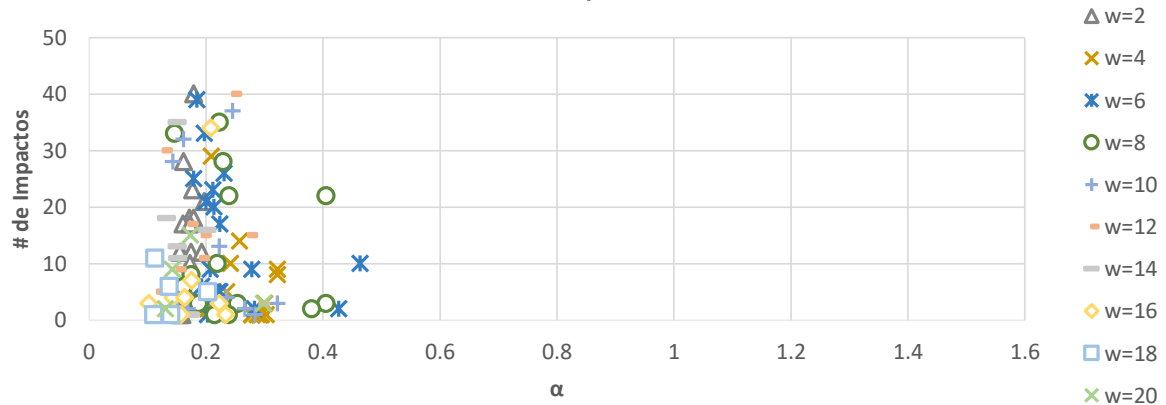
E_T



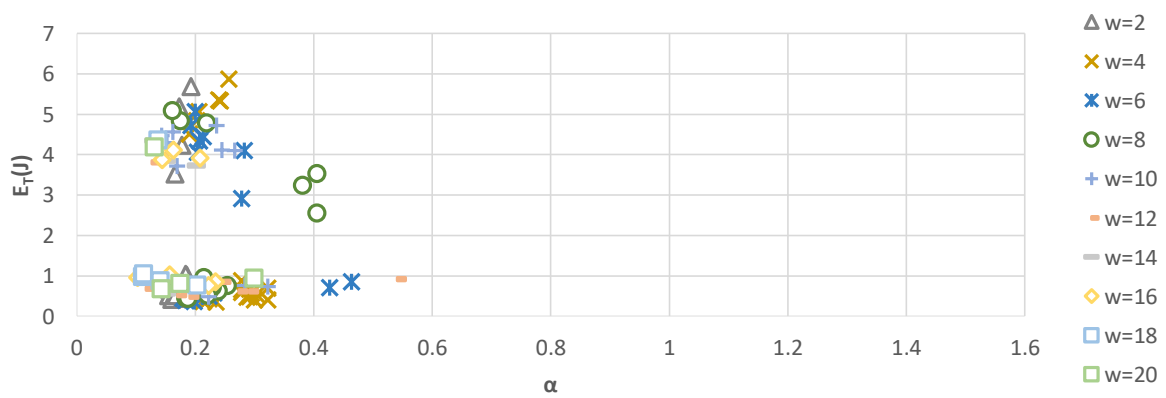
Equi-Velocidad=1.6 m/s (Seno)



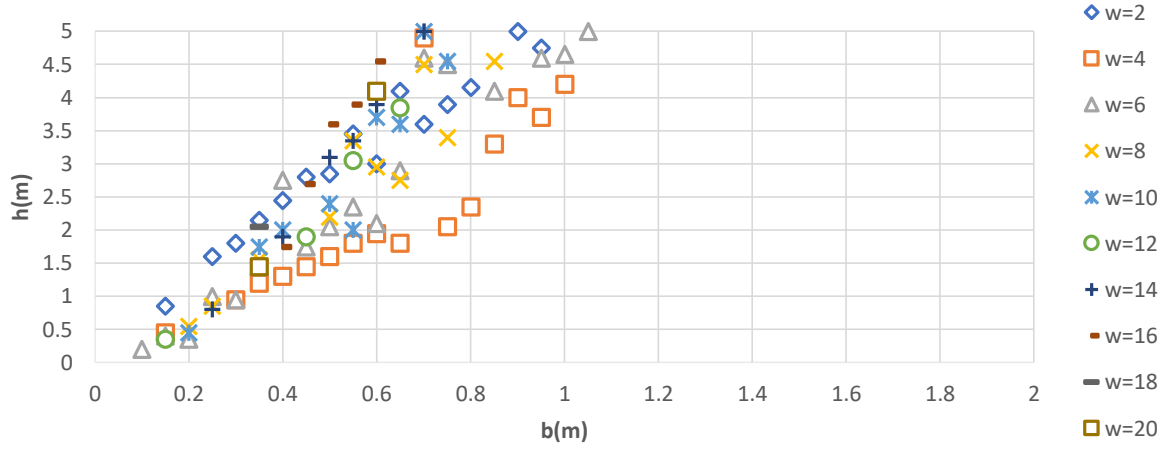
Equi-Velocidad=1.6 m/s (Seno)
de Impactos



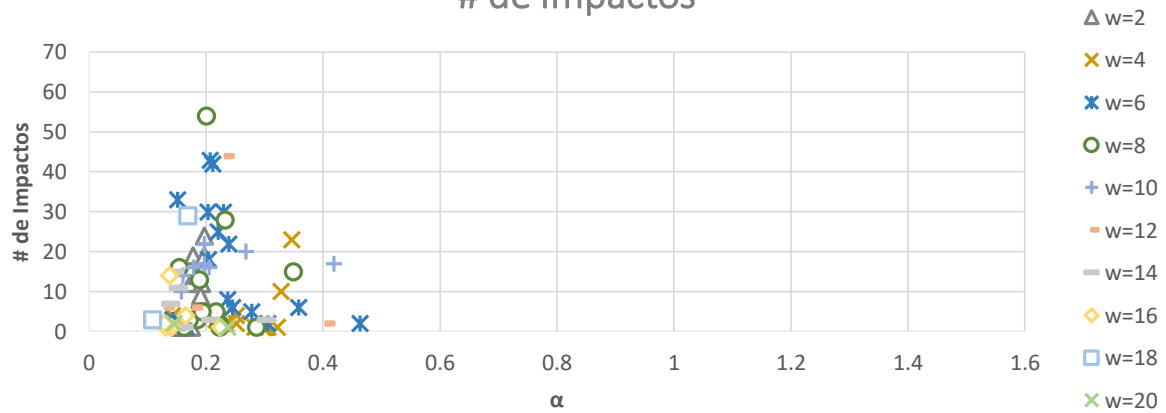
Equi-Velocidad=1.6 m/s (Seno)
 E_T



Equi-Velocidad=1.7 m/s (Seno)

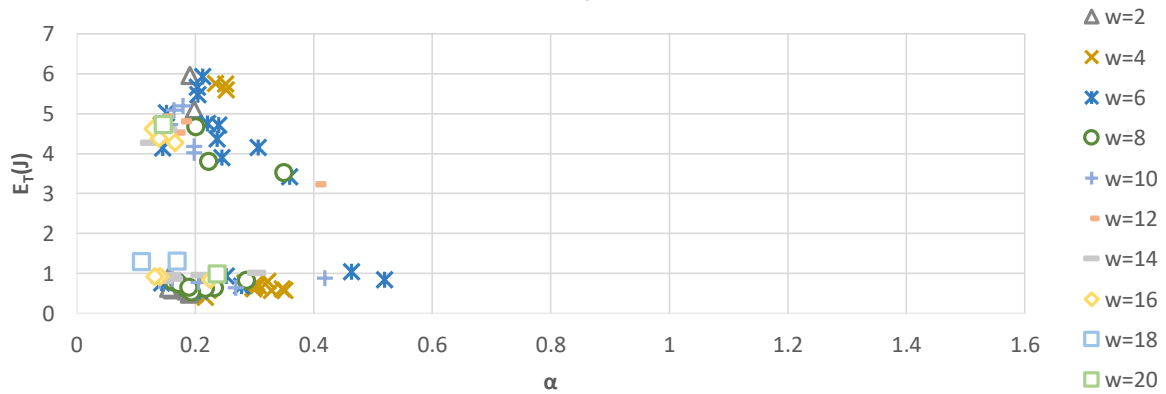


Equi-Velocidad=1.7 m/s (Seno)
de Impactos

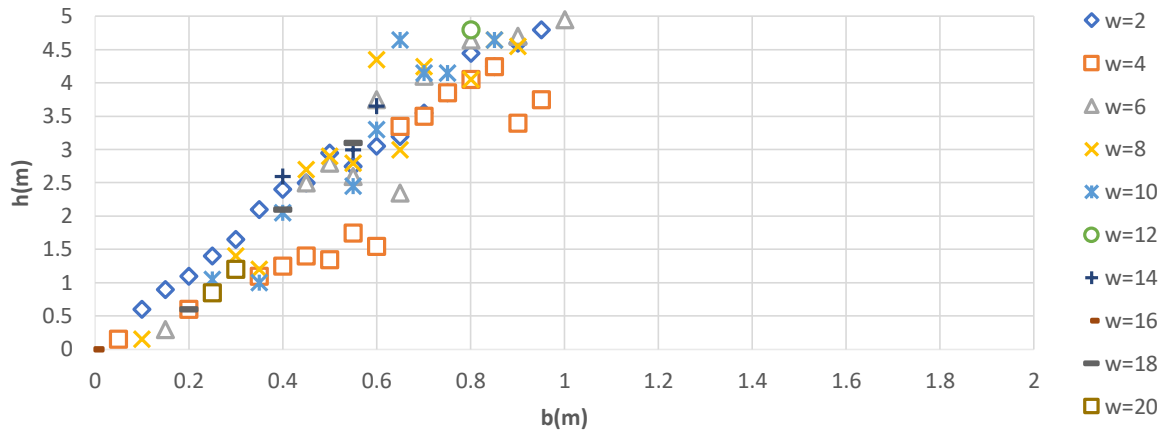


Equi-Velocidad=1.7 m/s (Seno)

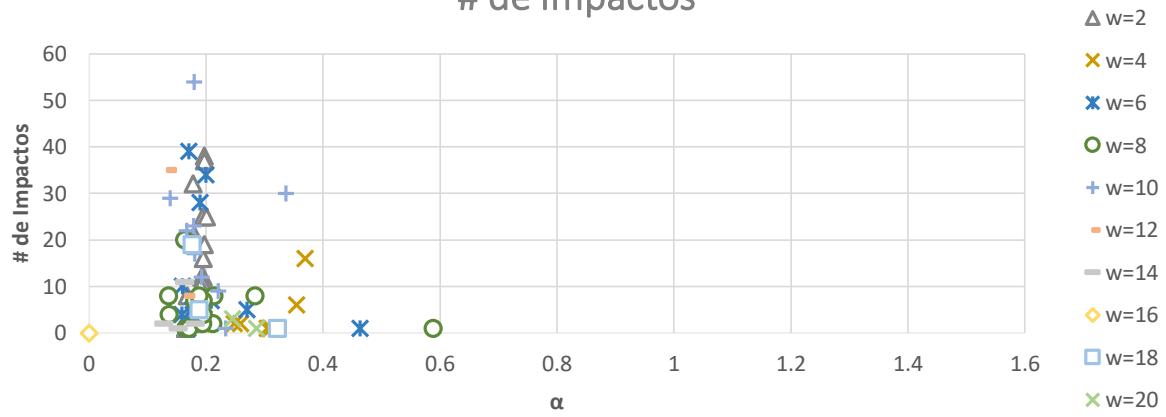
E_T



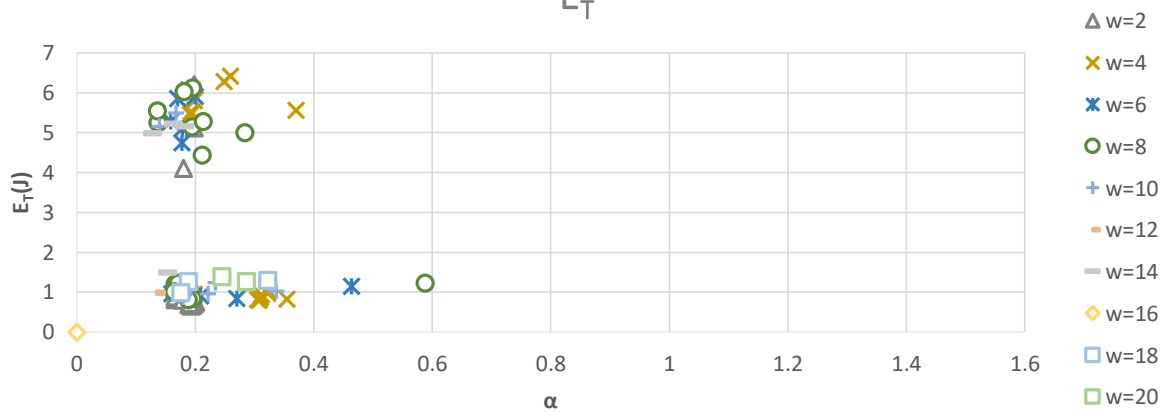
Equi-Velocidad=1.8 m/s (Seno)



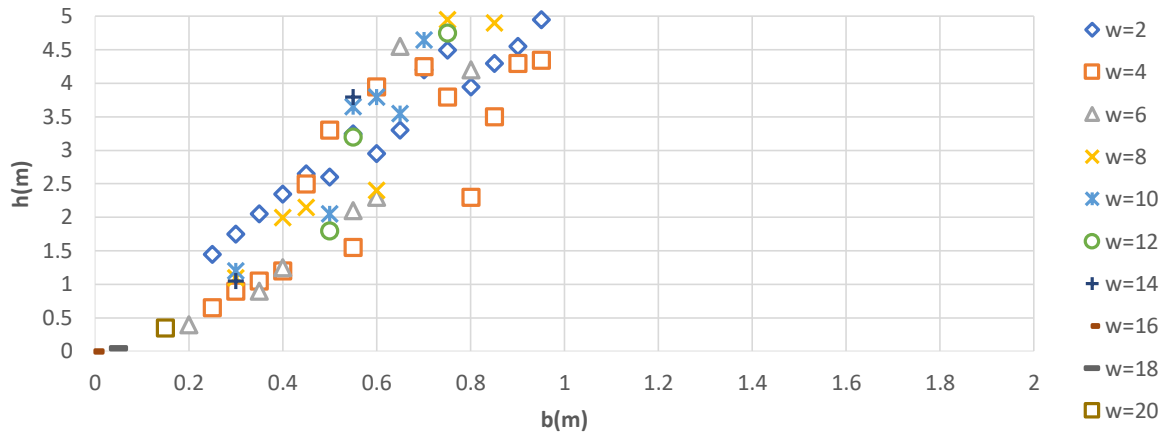
Equi-Velocidad=1.8 m/s (Seno)
de Impactos



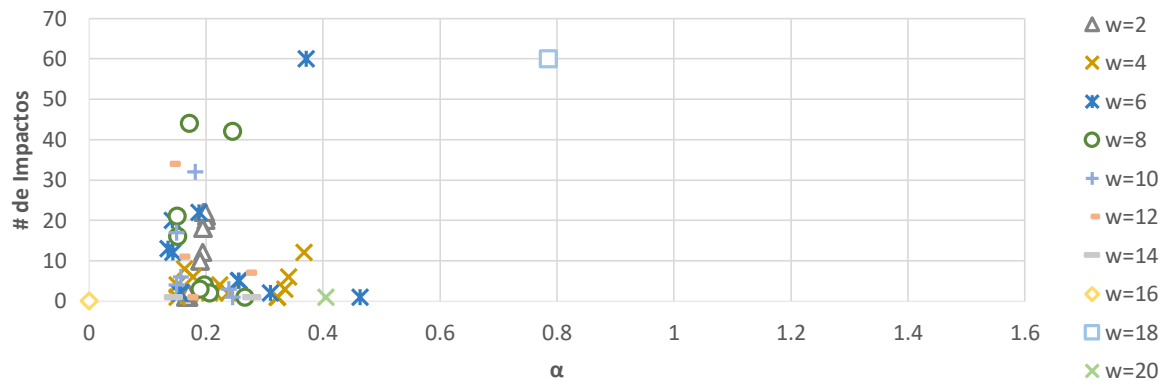
Equi-Velocidad=1.8 m/s (Seno)
 E_T



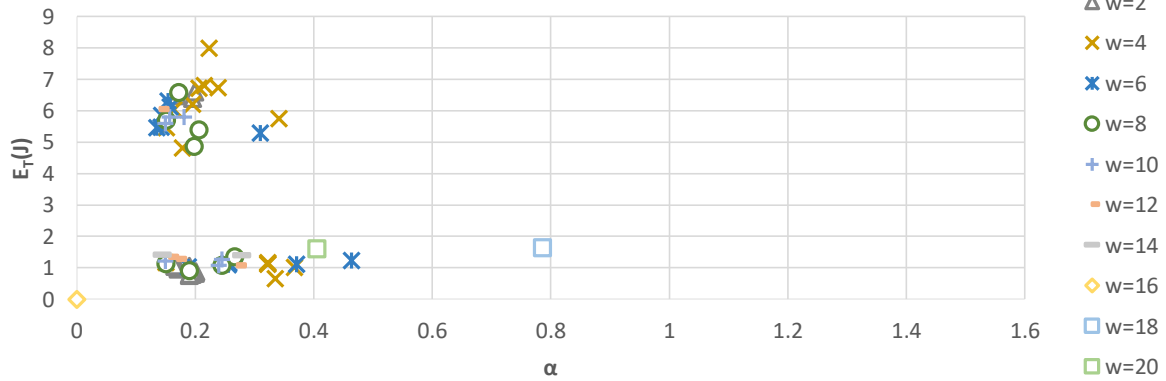
Equi-Velocidad=1.9 m/s (Seno)



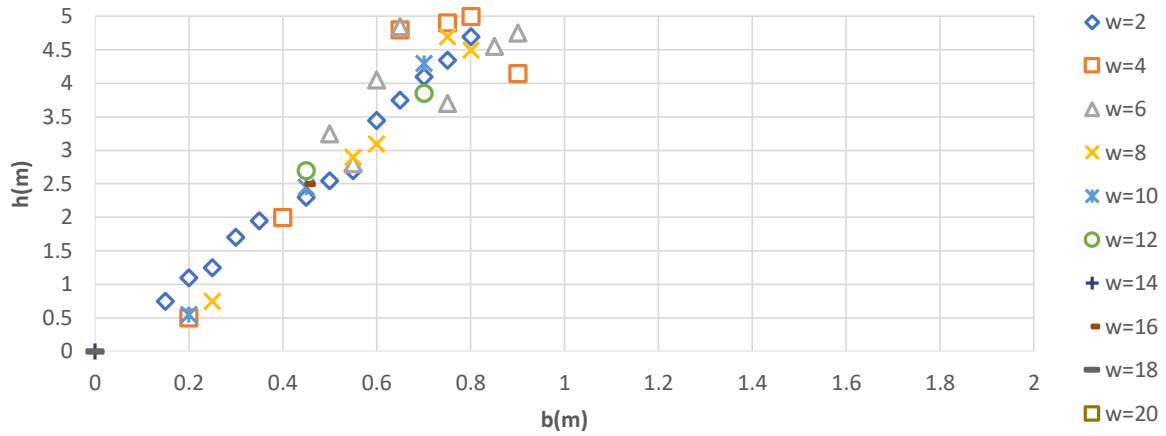
Equi-Velocidad=1.9 m/s (Seno)
de Impactos



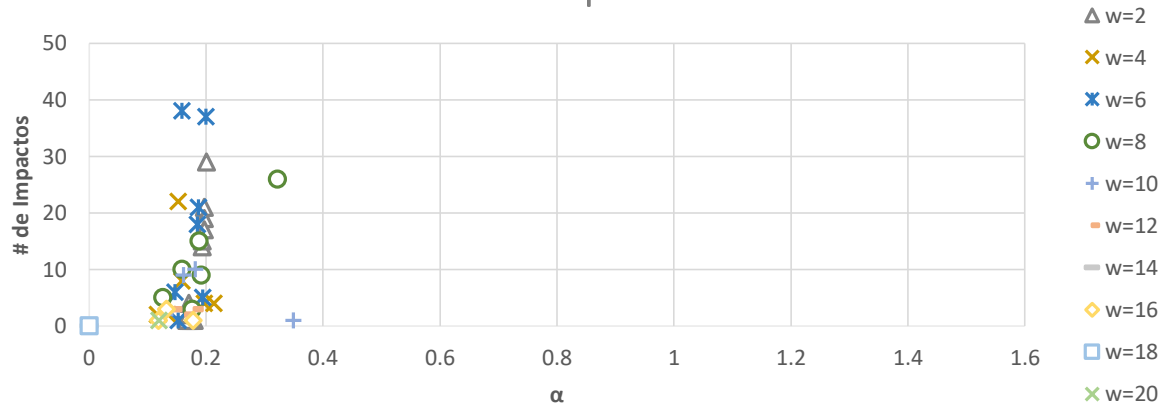
Equi-Velocidad=1.9 m/s (Seno)
 E_T



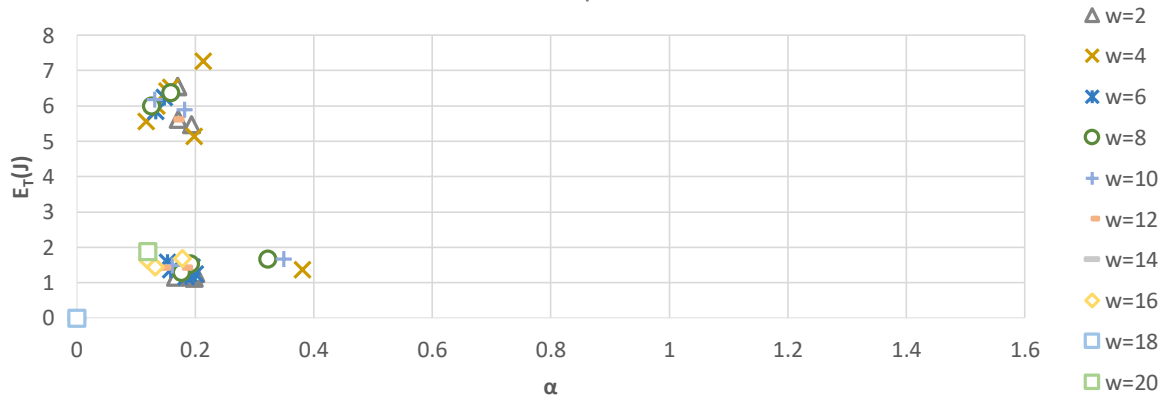
Equi-Velocidad=2m/s (Seno)



Equi-Velocidad=2m/s (Seno)
de Impactos

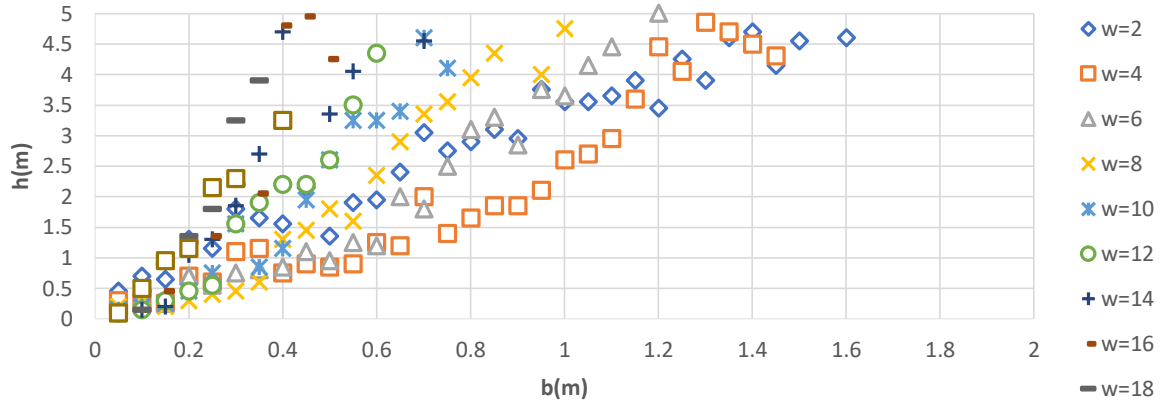


Equi-Velocidad=2m/s (Seno)
 E_T

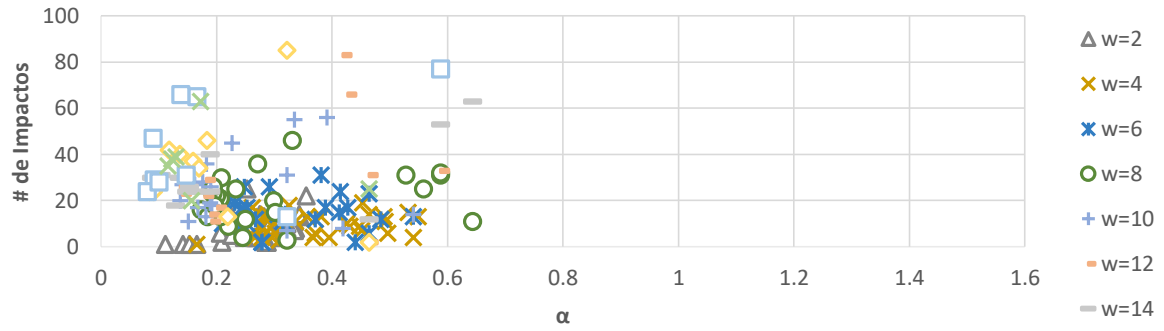


ANEXO 8

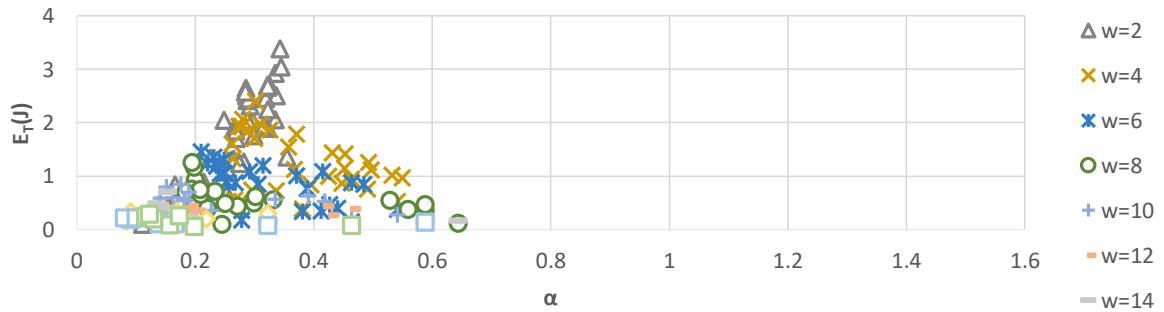
Equi-Velocidad=0.1 m/s (MSAV)



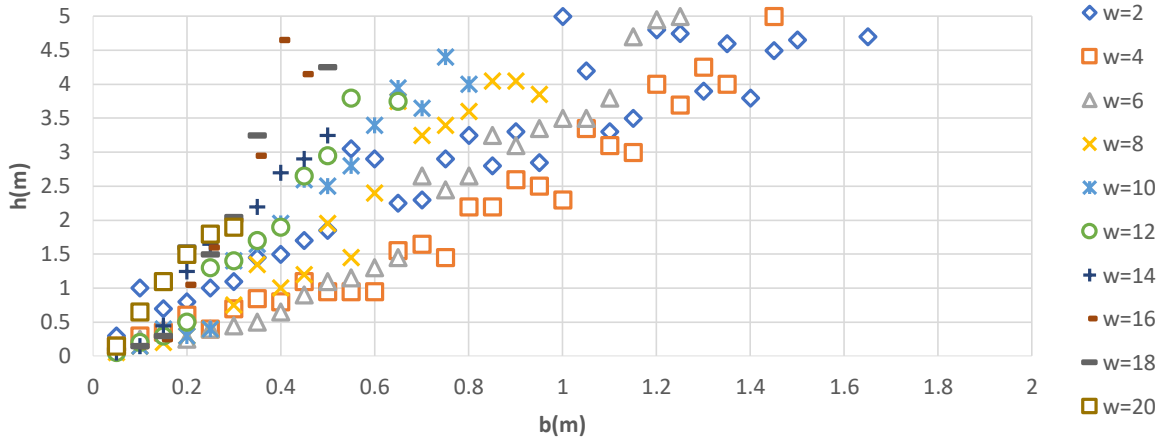
Equi-Velocidad=0.1 m/s (MSAV) # de Impactos



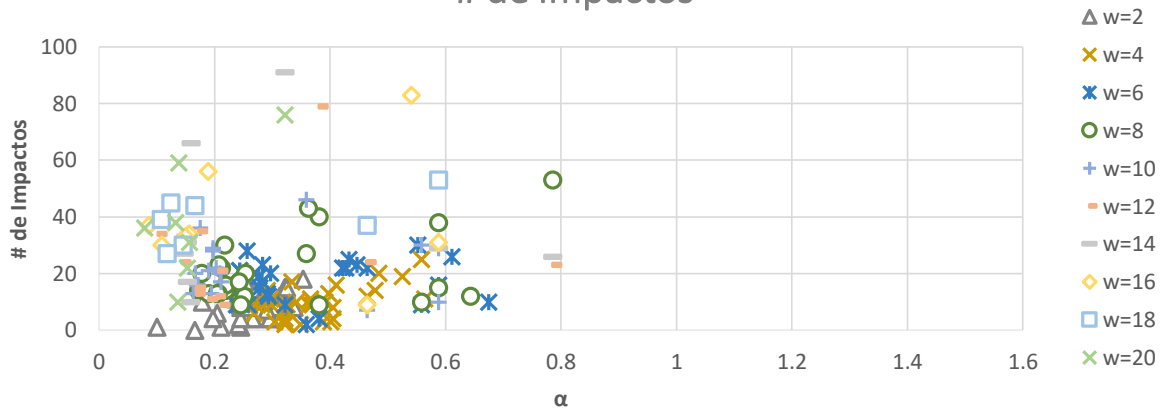
Equi-Velocidad=0.1 m/s (MSAV) E_T



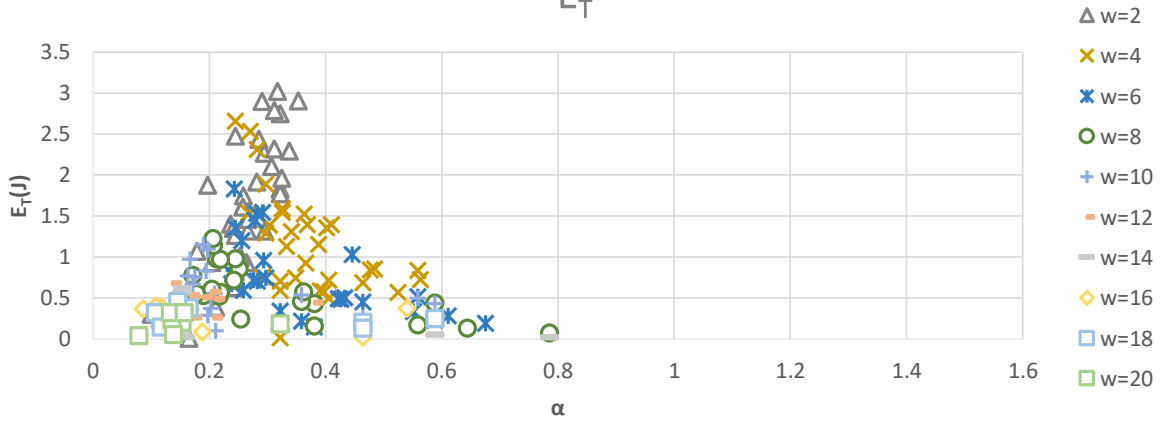
Equi-Velocidad=0.2 m/s (MSAV)



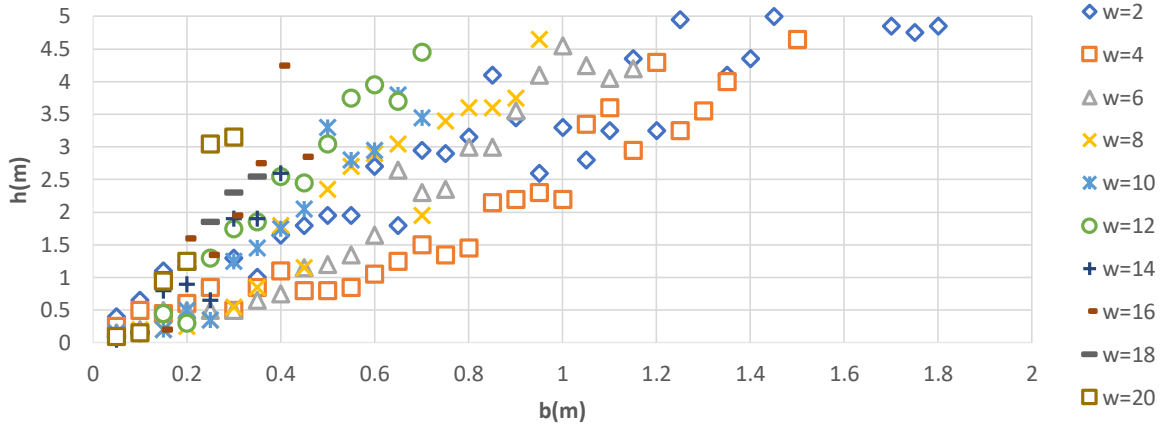
Equi-Velocidad=0.2 m/s (MSAV)
de Impactos



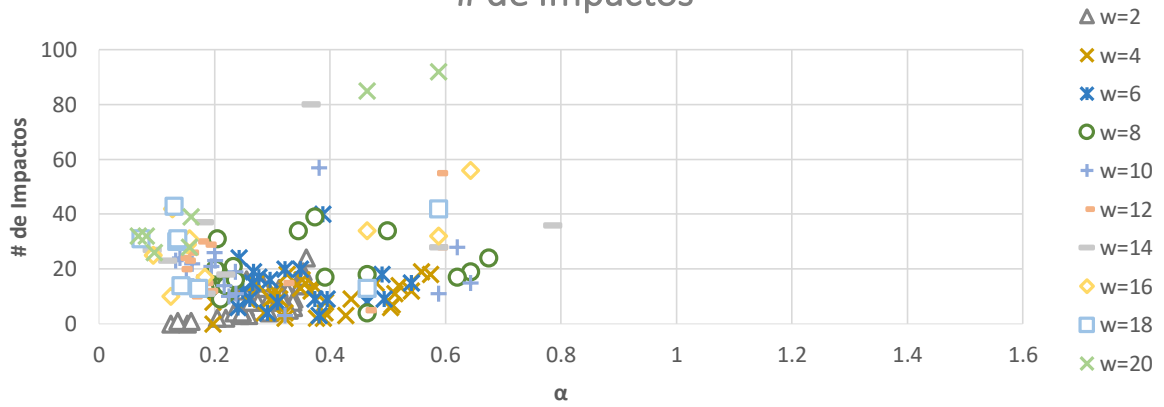
Equi-Velocidad=0.2 m/s (MSAV)
 E_T



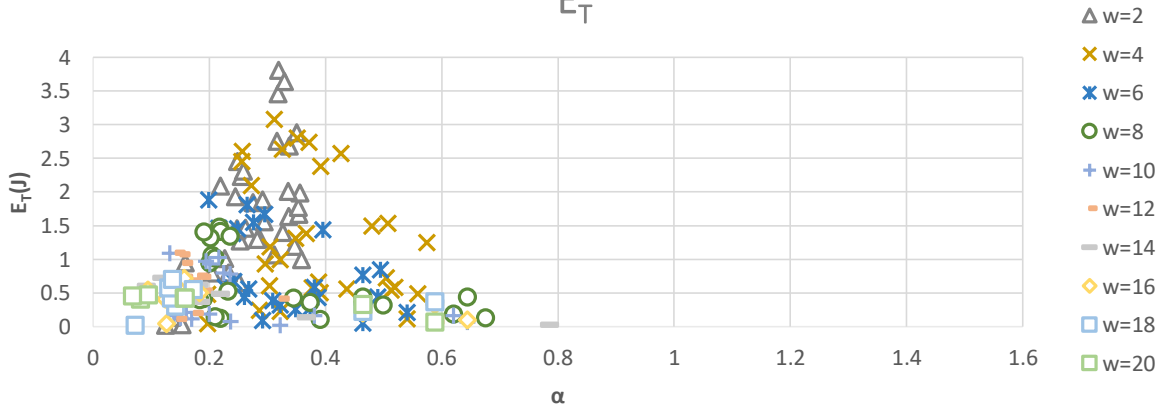
Equi-Velocidad=0.3 m/s (MSAV)



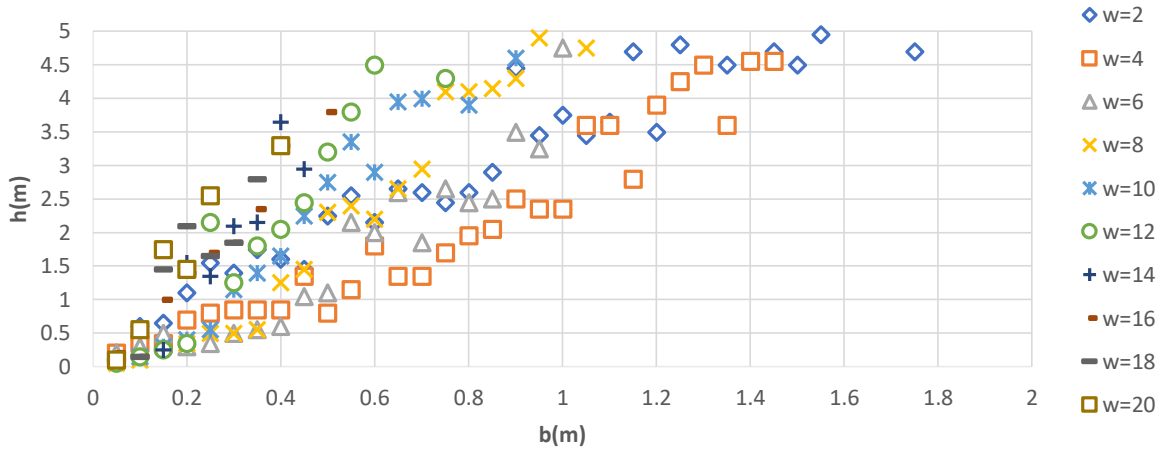
Equi-Velocidad=0.3 m/s (MSAV)
de Impactos



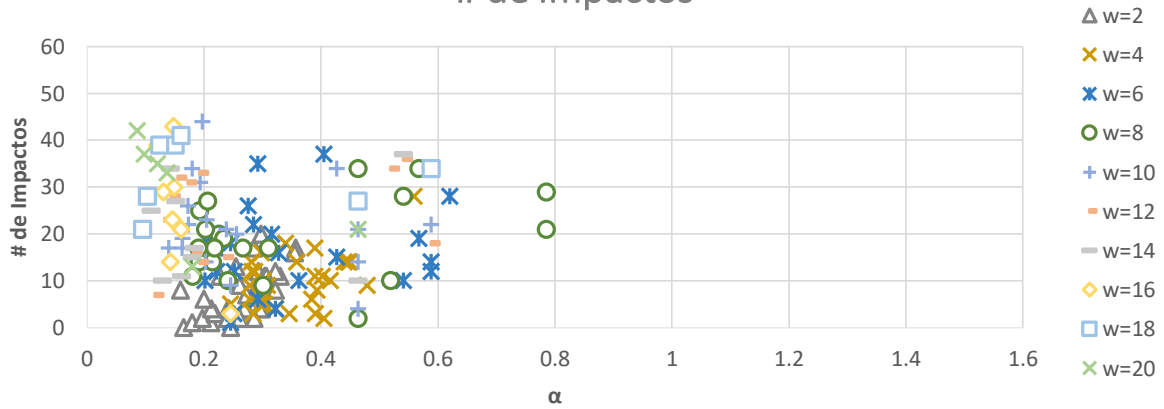
Equi-Velocidad=0.3 m/s (MSAV)
 E_T



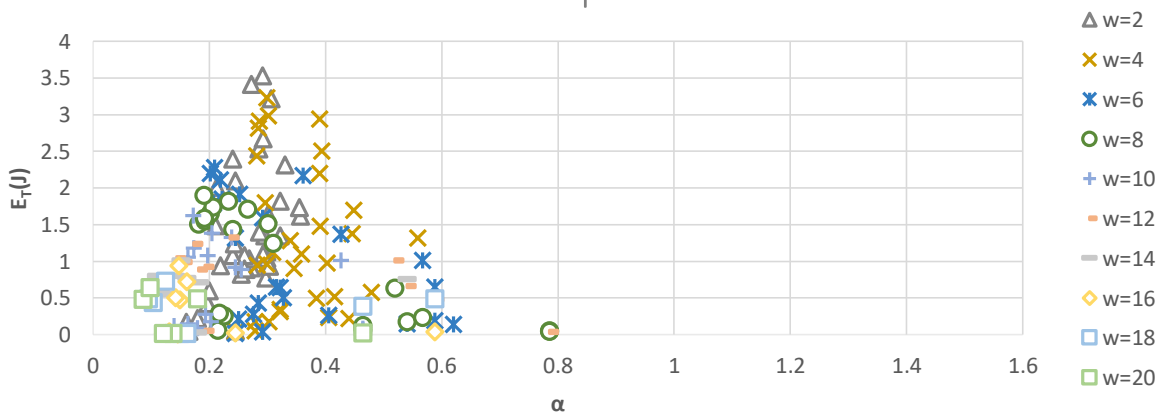
Equi-Velocidad=0.4 m/s (MSAV)



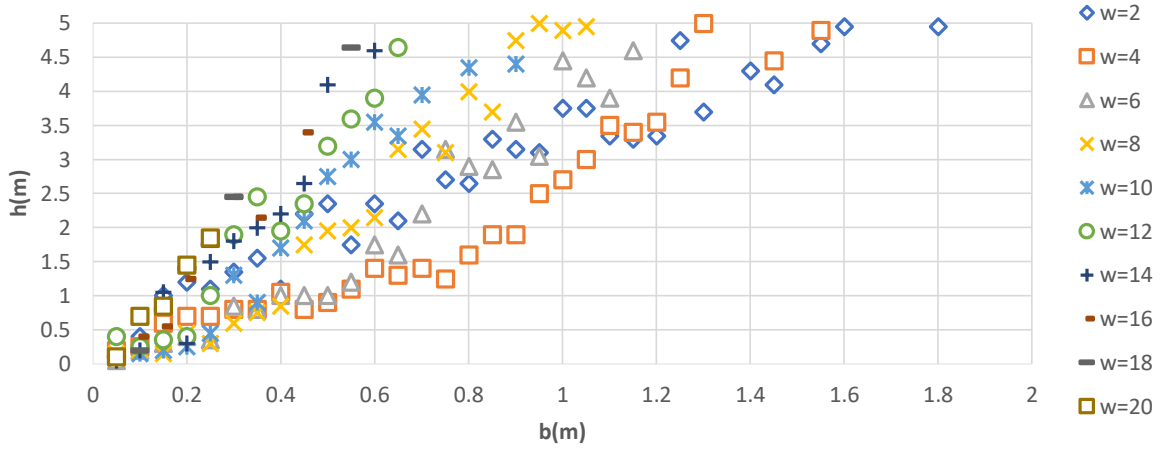
Equi-Velocidad=0.4 m/s (MSAV)
de Impactos



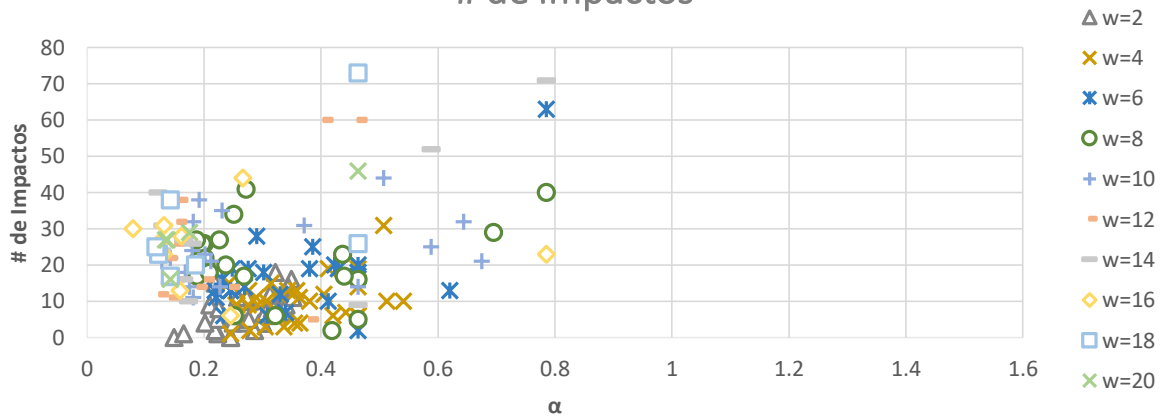
Equi-Velocidad=0.4 m/s (MSAV)
 E_T



Equi-Velocidad=0.5 m/s (MSAV)

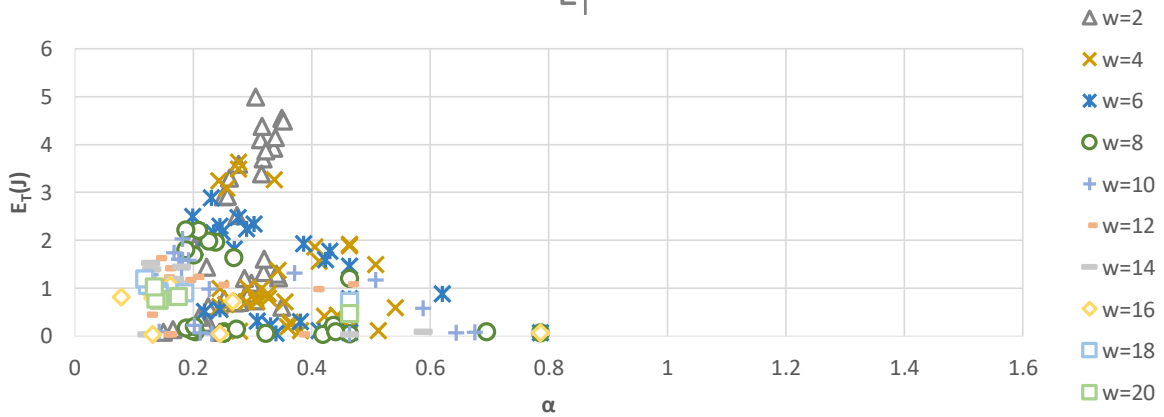


Equi-Velocidad=0.5 m/s (MSAV)
de Impactos

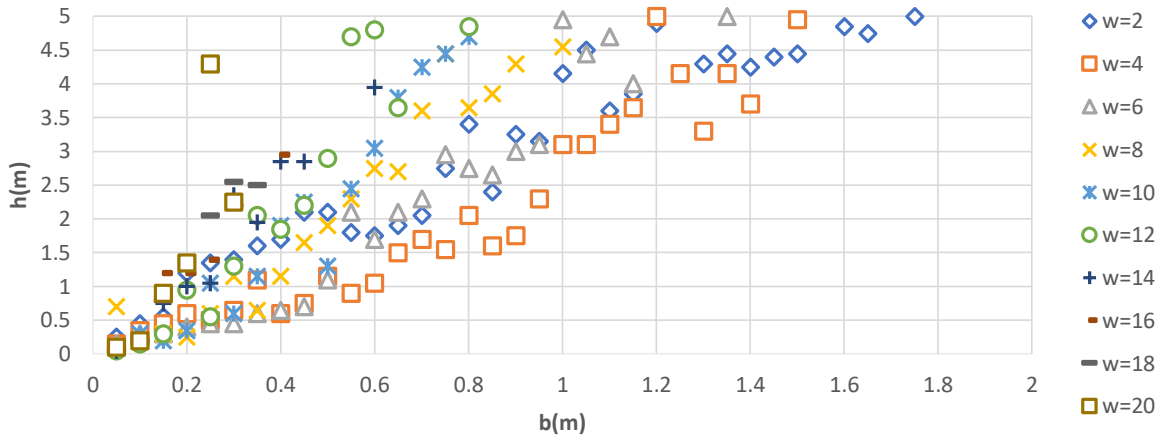


Equi-Velocidad=0.5 m/s (MSAV)

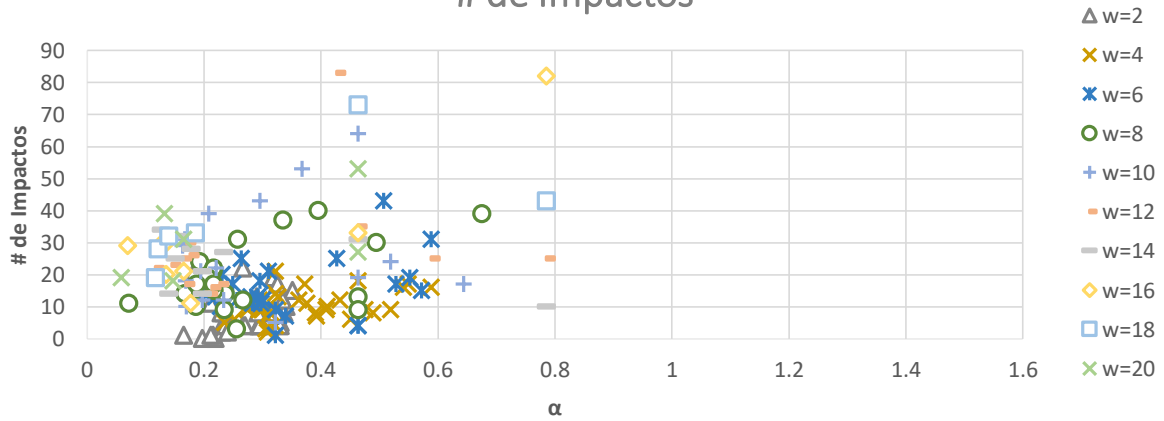
E_T



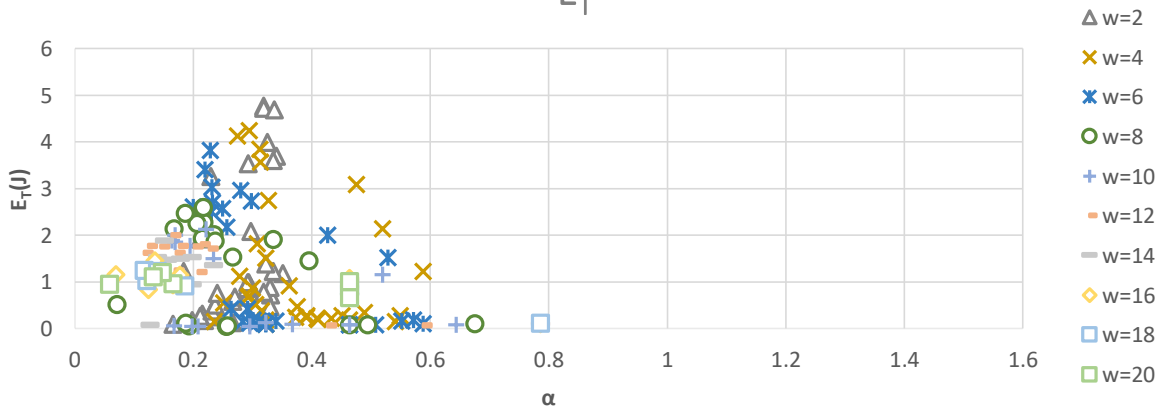
Equi-Velocidad=0.6 m/s (MSAV)



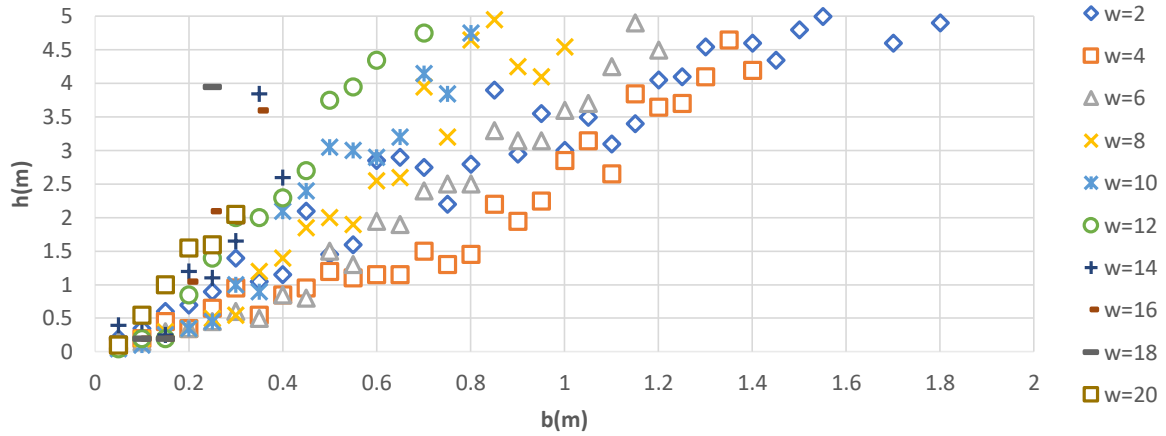
Equi-Velocidad=0.6 m/s (MSAV)
de Impactos



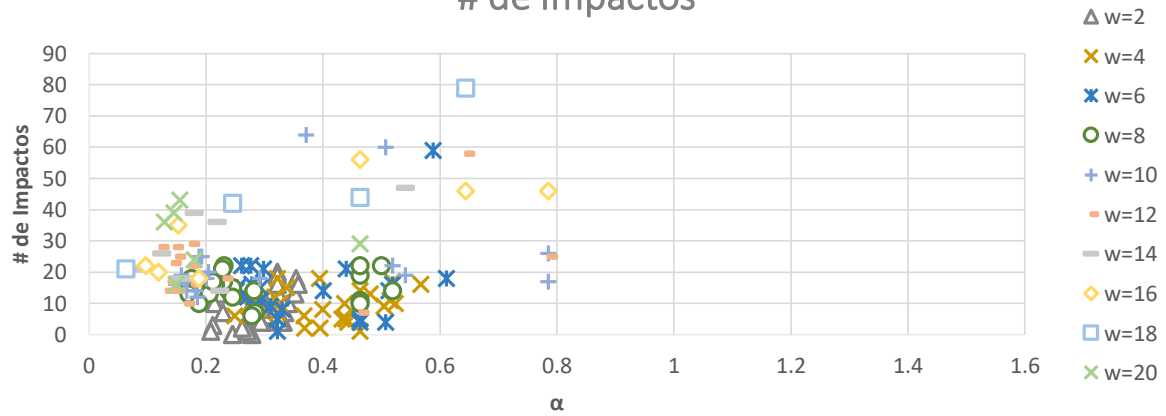
Equi-Velocidad=0.6 m/s (MSAV)
 E_T



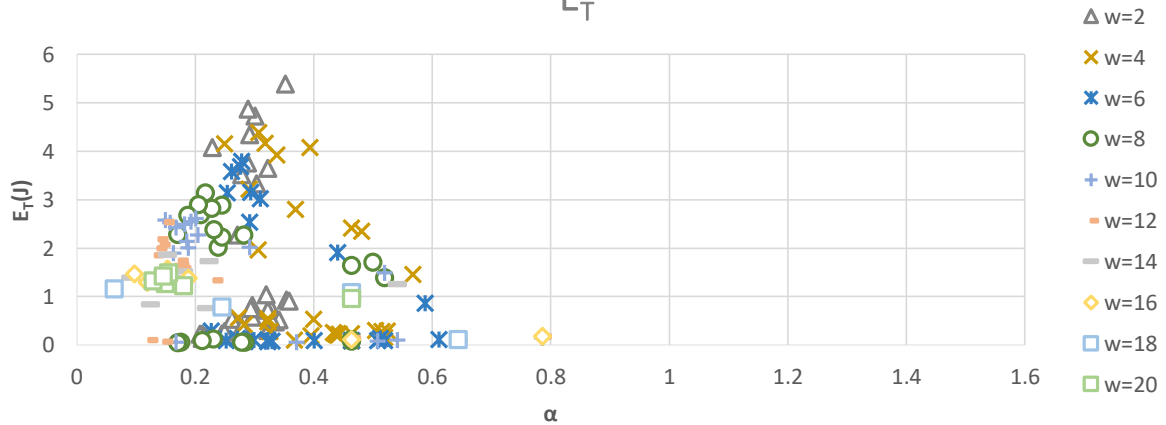
Equi-Velocidad=0.7 m/s (MSAV)



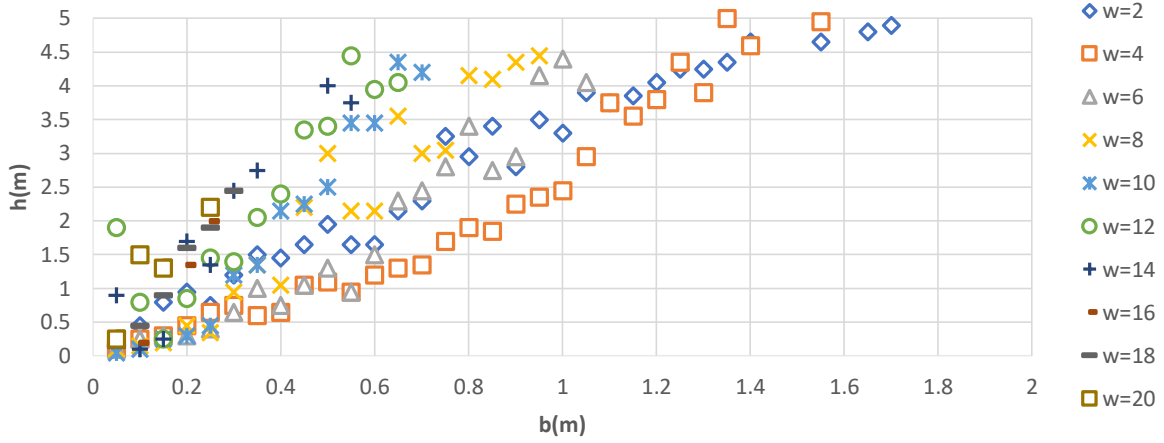
Equi-Velocidad=0.7 m/s (MSAV)
de Impactos



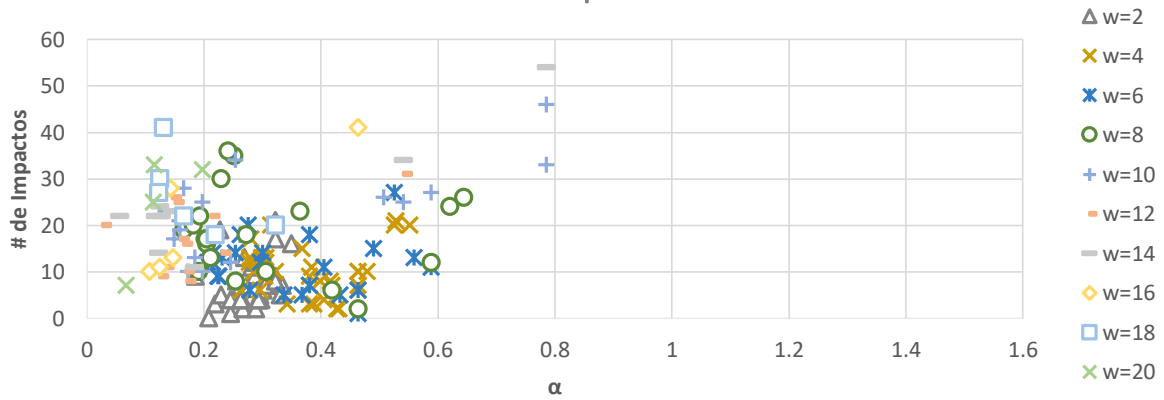
Equi-Velocidad=0.7 m/s (MSAV)
 E_T



Equi-Velocidad=0.8 m/s (MSAV)

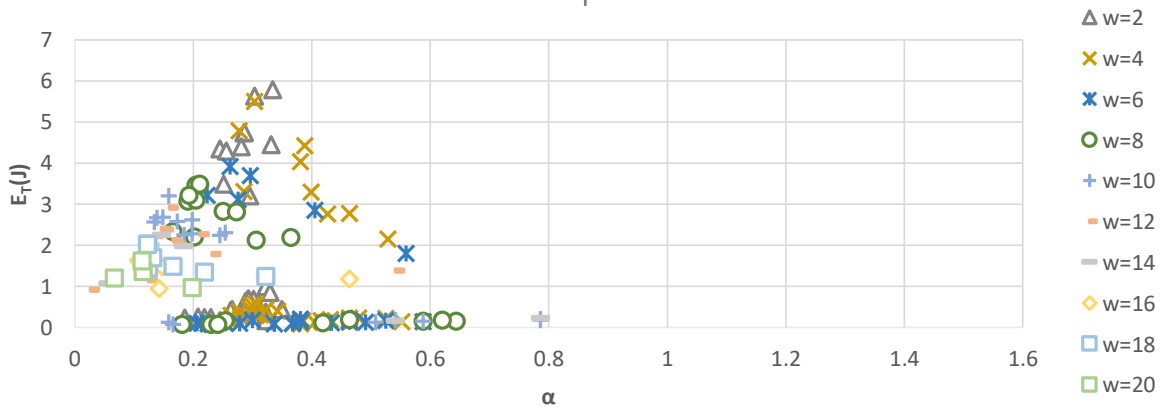


Equi-Velocidad=0.8 m/s (MSAV)
de Impactos

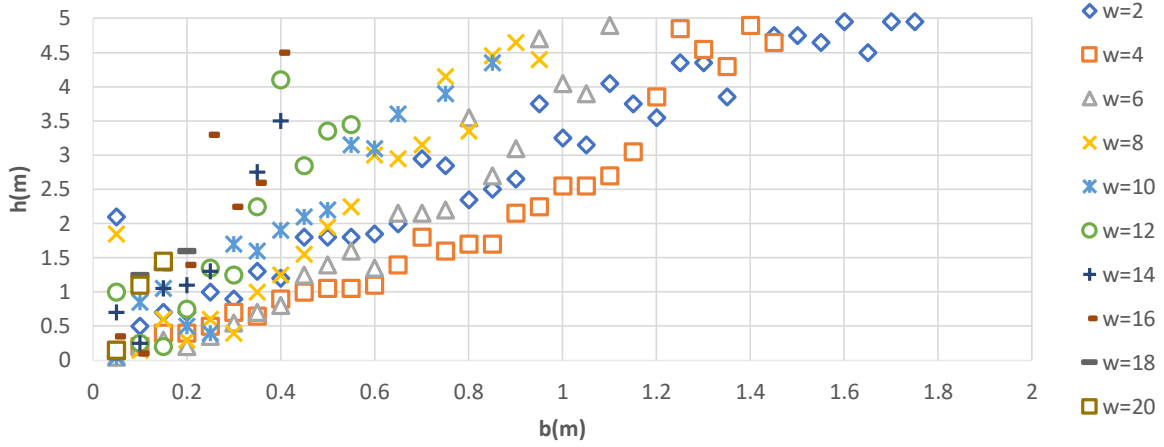


Equi-Velocidad=0.8 m/s (MSAV)

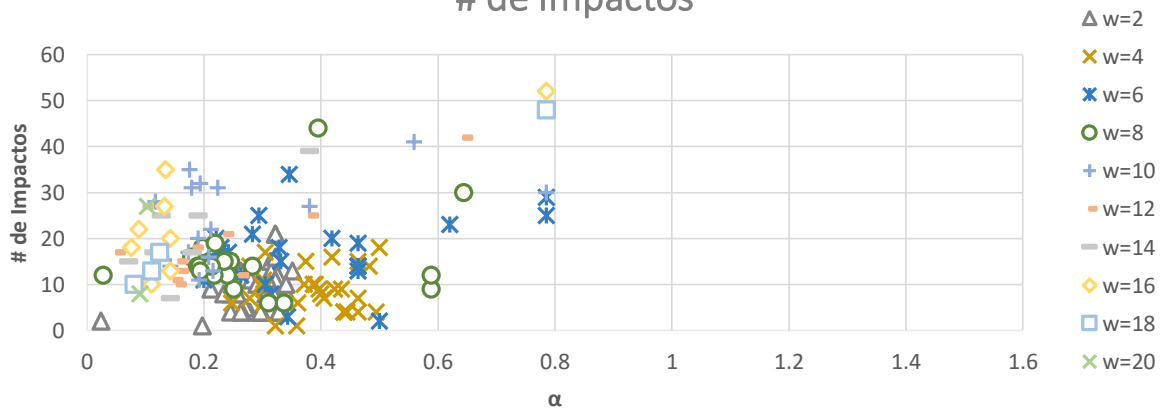
E_T



Equi-Velocidad=0.9 m/s (MSAV)

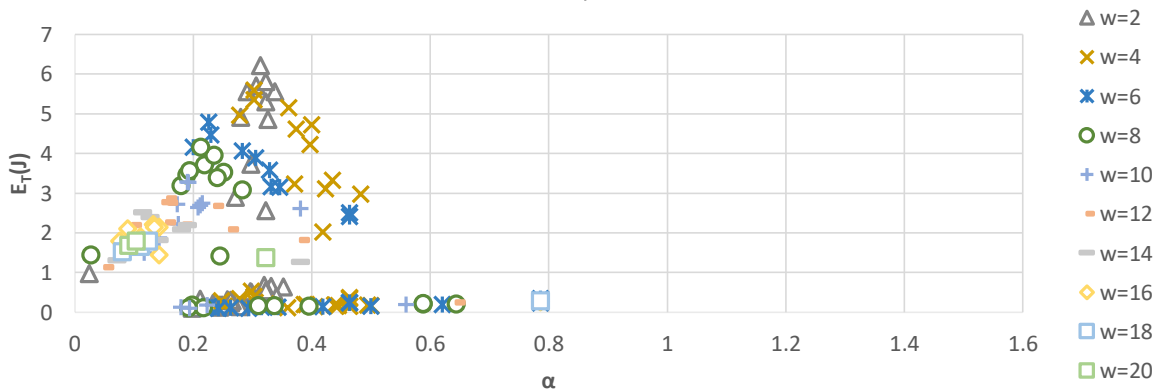


Equi-Velocidad=0.9 m/s (MSAV)
de Impactos

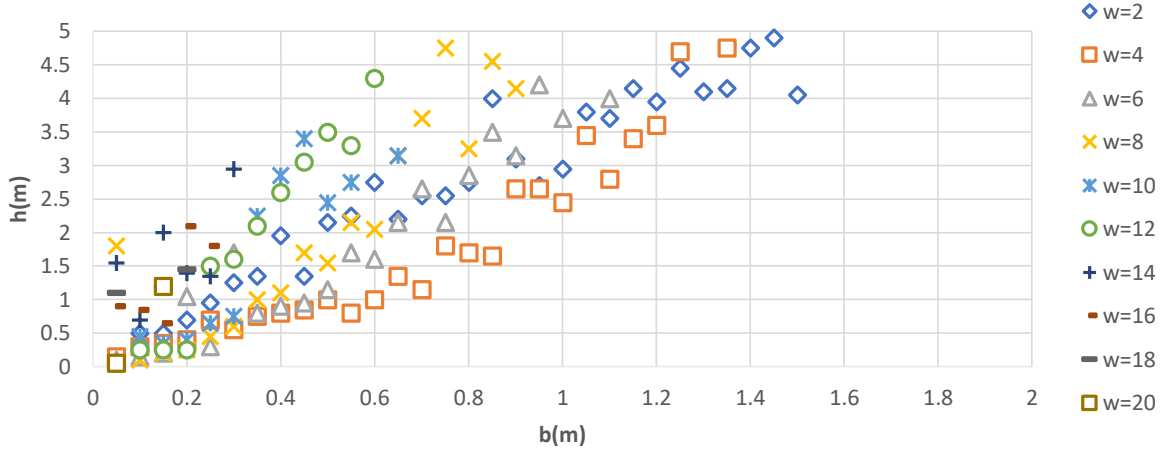


Equi-Velocidad=0.9 m/s (MSAV)

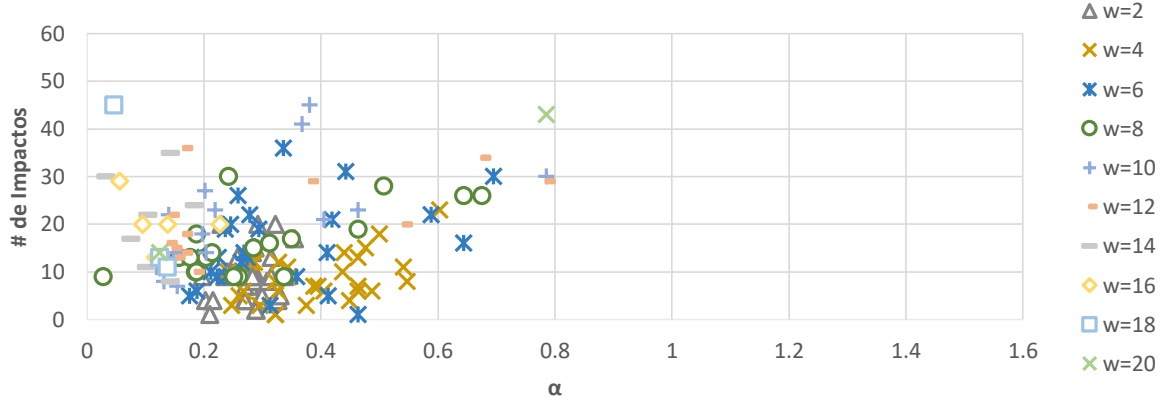
E_T



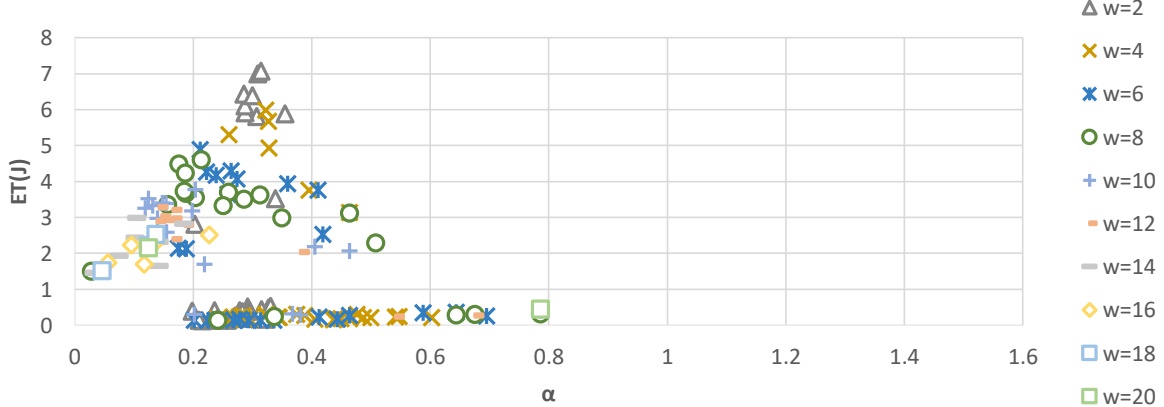
Equi-Velocidad=1 m/s (MSAV)



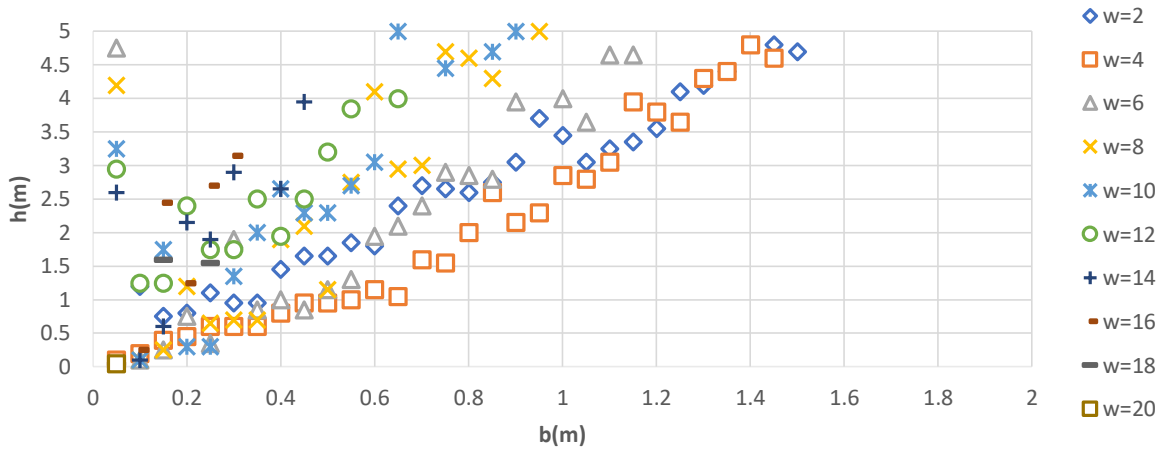
Equi-Velocidad=1 m/s (MSAV)
de Impactos



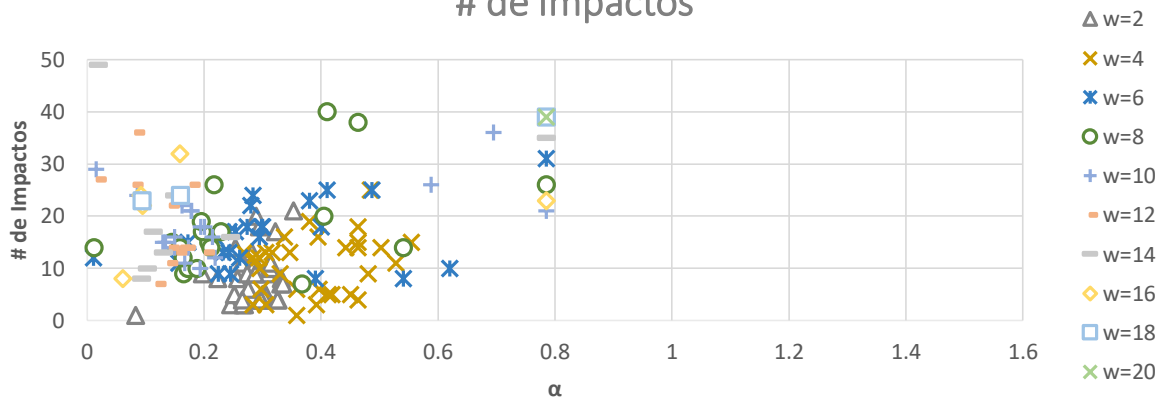
Equi-Velocidad=1 m/s (MSAV)
Evolteo



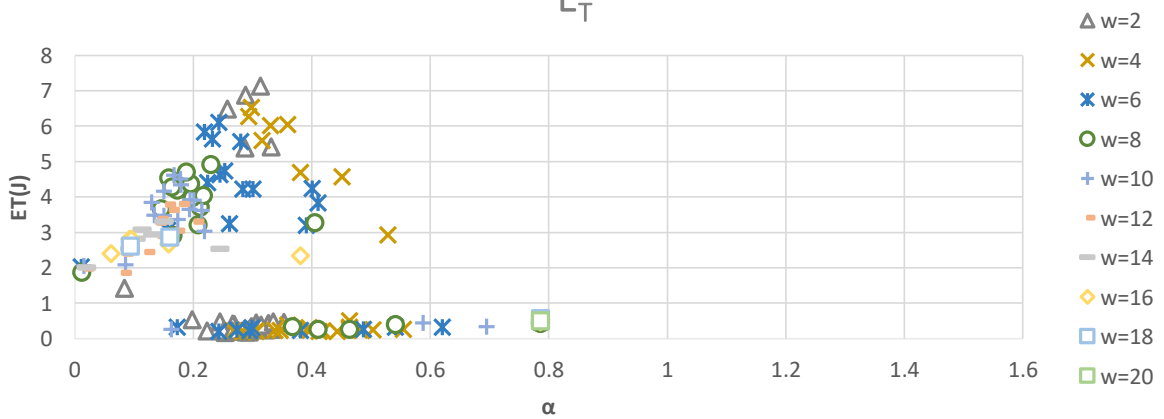
Equi-Velocidad=1.1 m/s (MSAV)



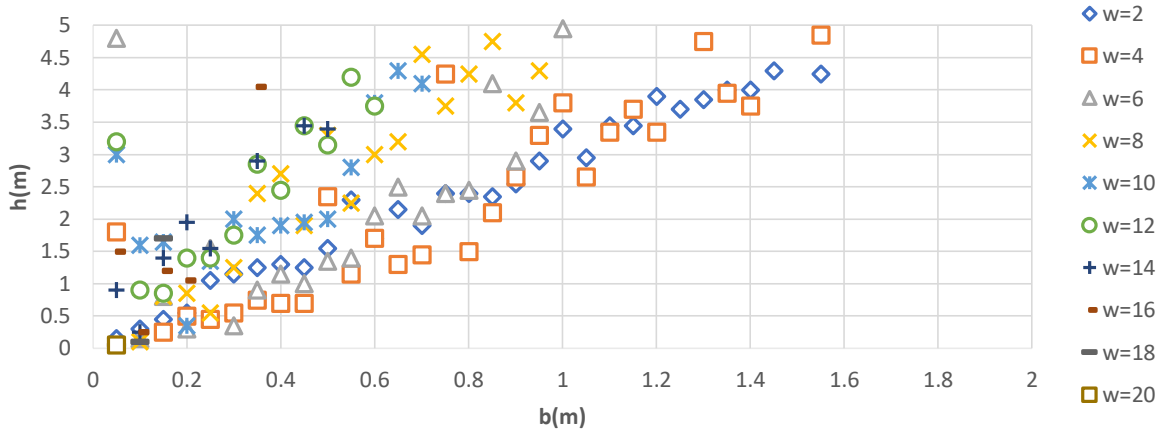
Equi-Velocidad=1.1 m/s (MSAV)
de Impactos



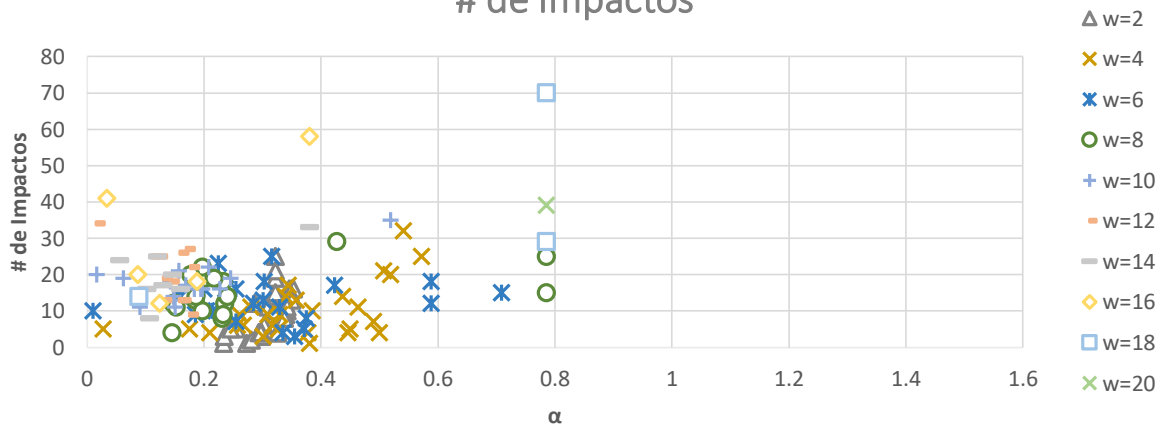
Equi-Velocidad=1.1 m/s (MSAV)
 E_T



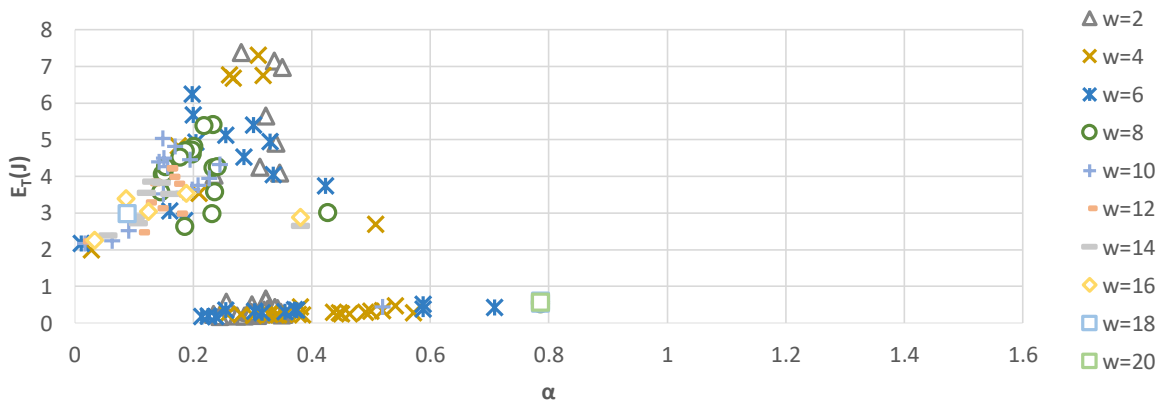
Equi-Velocidad=1.2 m/s (MSAV)



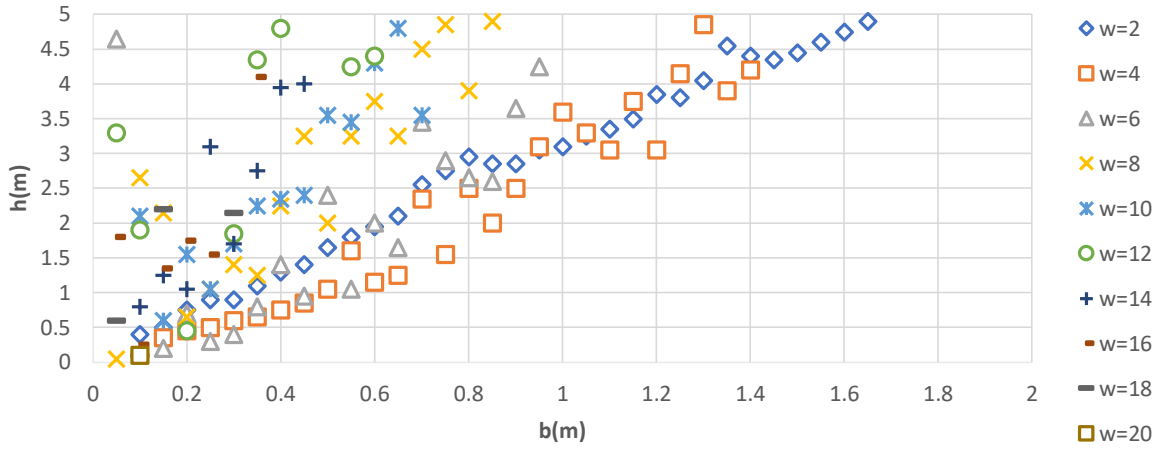
Equi-Velocidad=1.2 m/s (MSAV)
de Impactos



Equi-Velocidad=1.2 m/s (MSAV)
 E_T

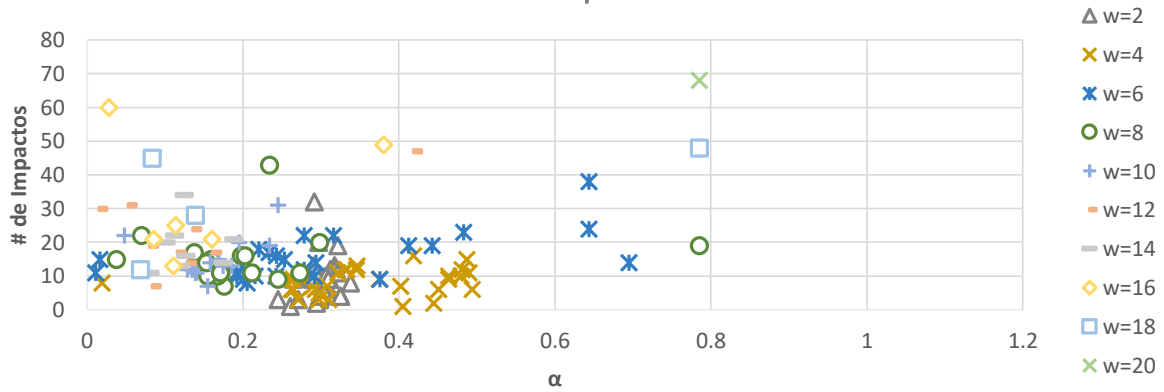


Equi-Velocidad=1.3 m/s (MSAV)



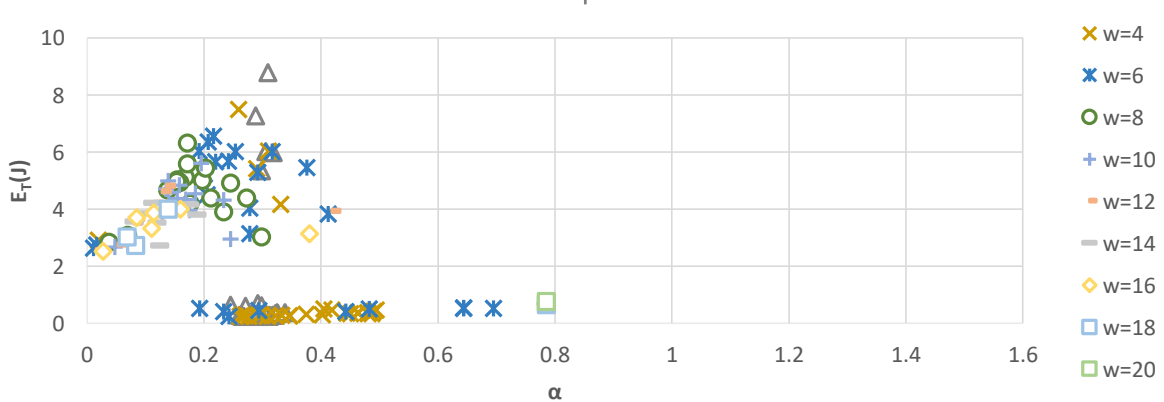
Equi-Velocidad=1.3 m/s (MSAV)

de Impactos

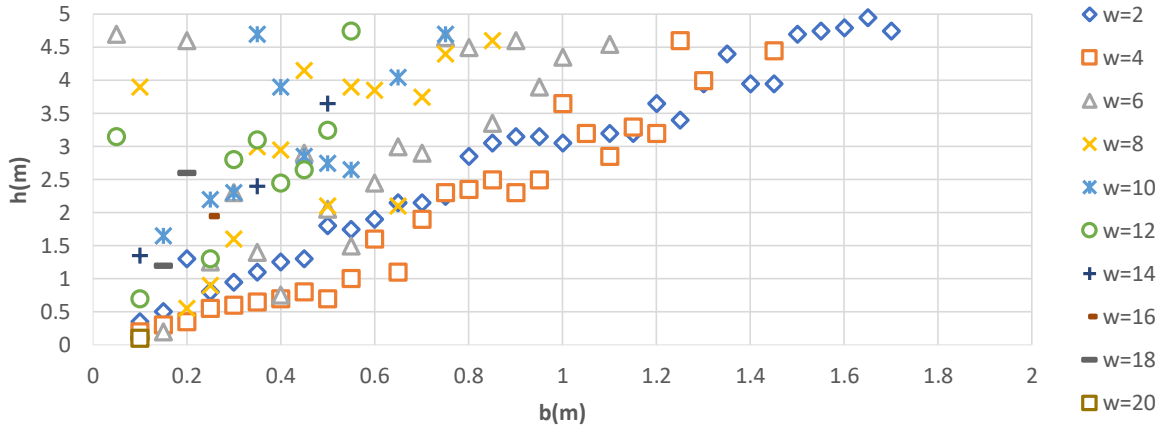


Equi-Velocidad=1.3 m/s (MSAV)

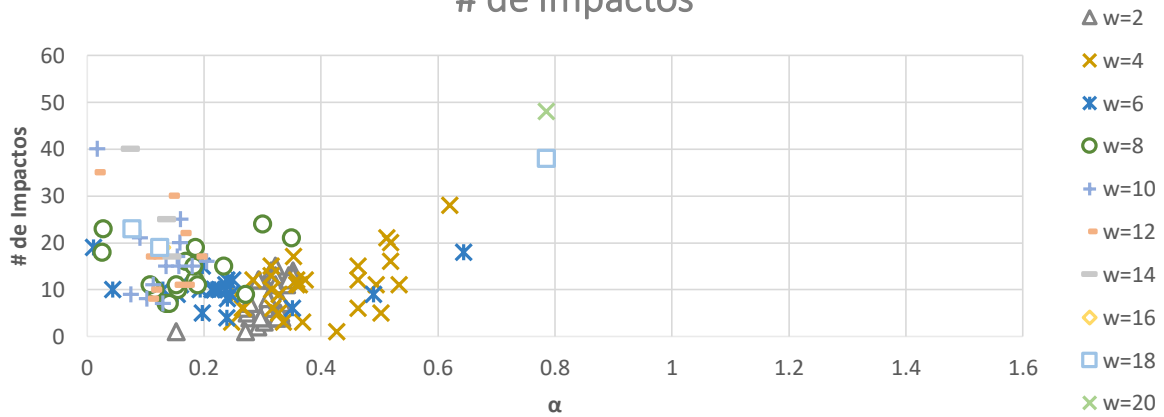
E_T



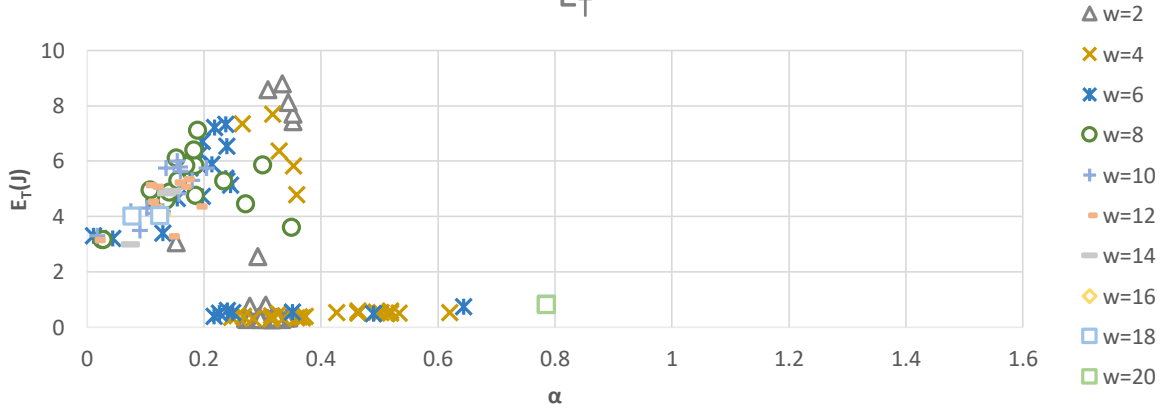
Equi-Velocidad=1.4 m/s (MSAV)



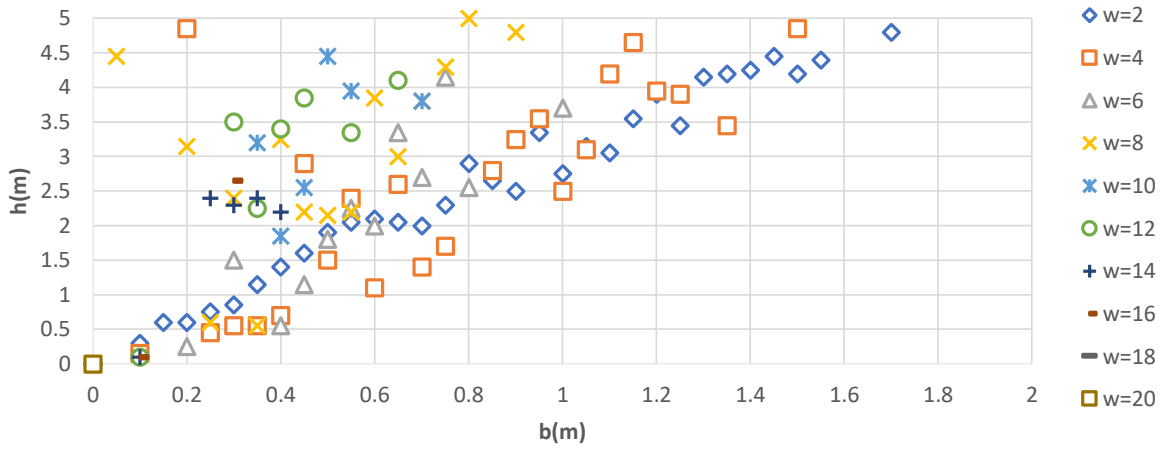
Equi-Velocidad=1.4 m/s (MSAV)
de Impactos



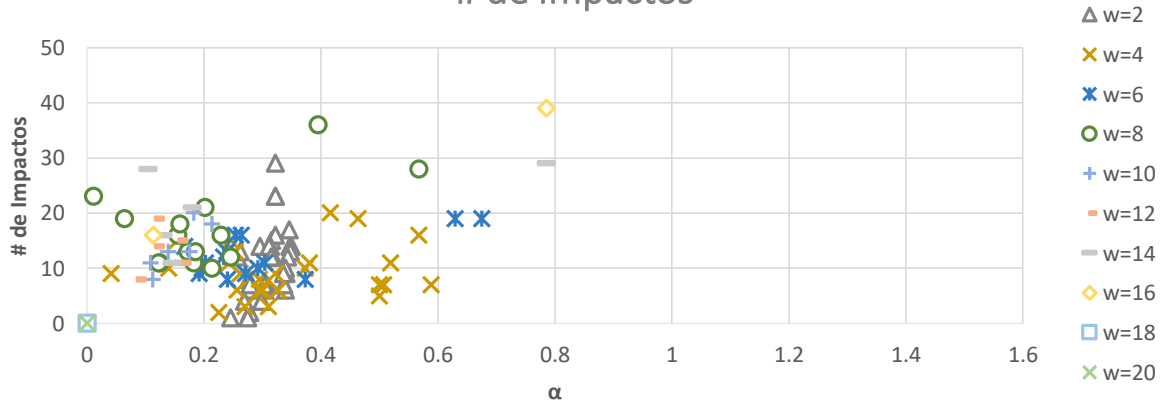
Equi-Velocidad=1.4 m/s (MSAV)
 E_T



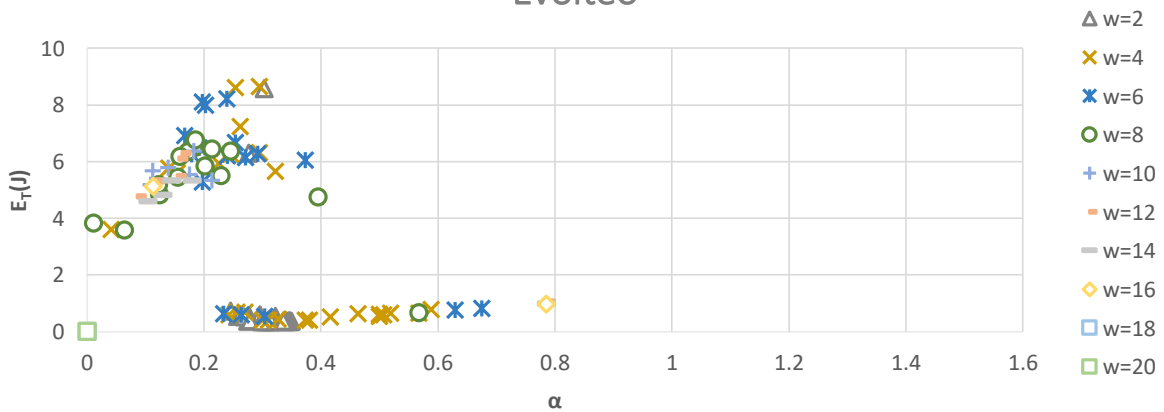
Equi-Velocidad=1.5 m/s (MSAV)



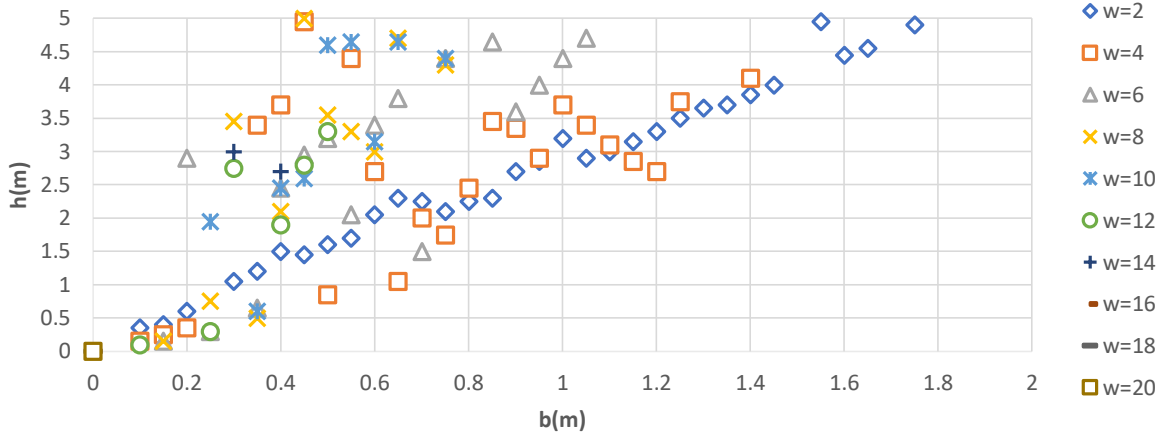
Equi-Velocidad=1.5 m/s (MSAV)
de Impactos



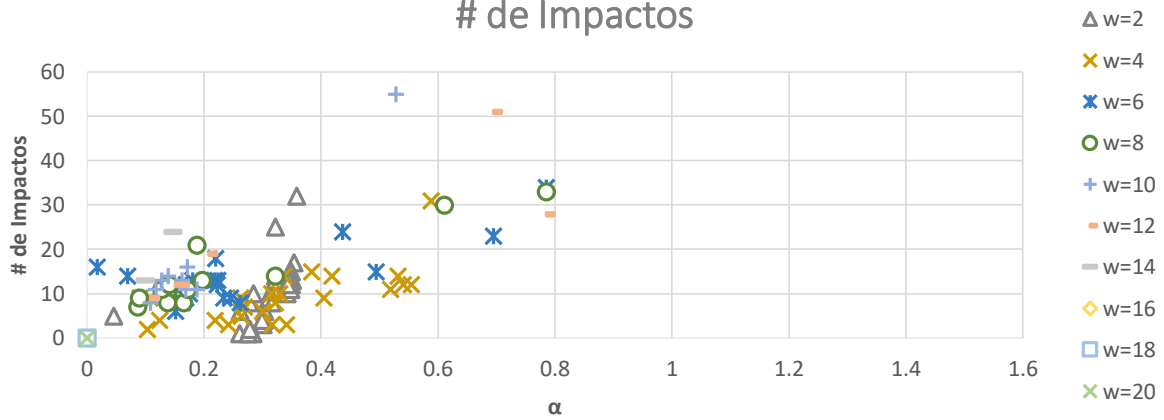
Equi-Velocidad=1.5 m/s (MSAV)
Evolteo



Equi-Velocidad=1.6 m/s (MSAV)

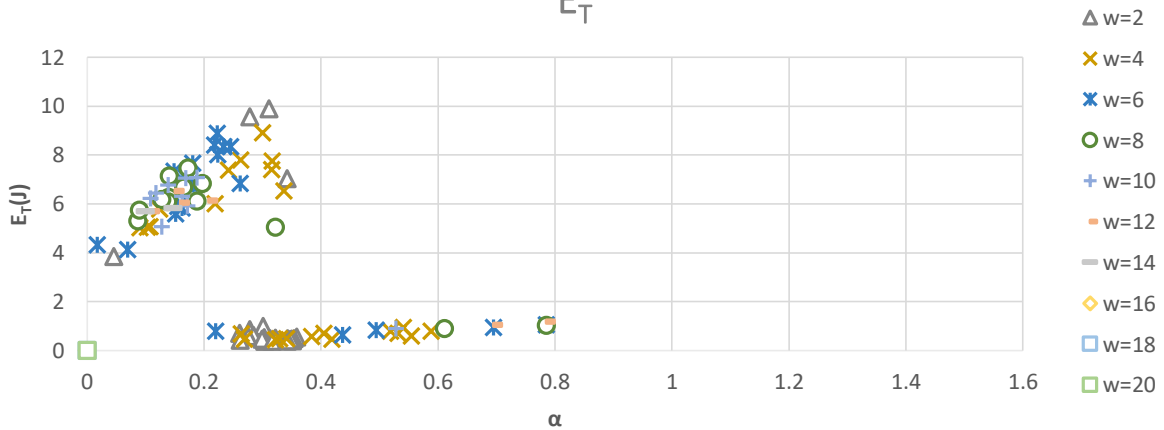


Equi-Velocidad=1.6 m/s (MSAV)
de Impactos

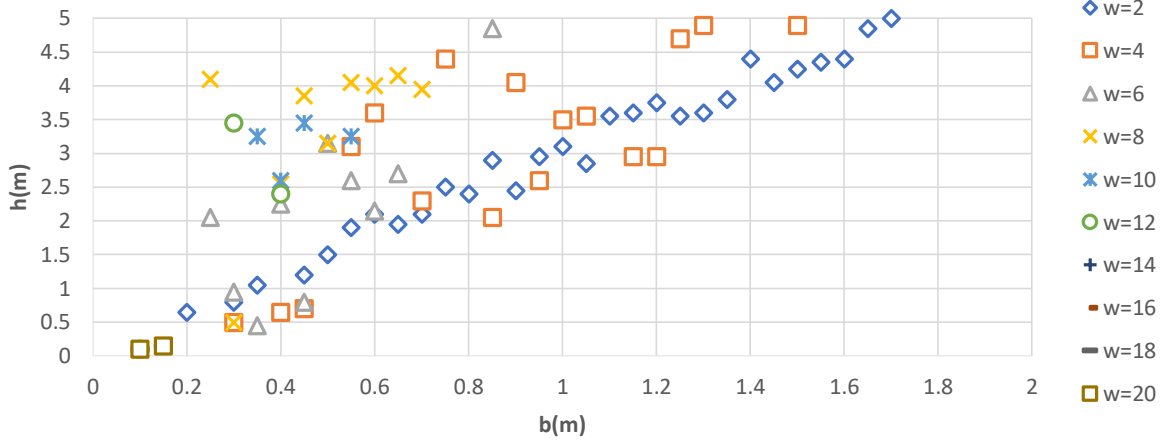


Equi-Velocidad=1.6 m/s (MSAV)

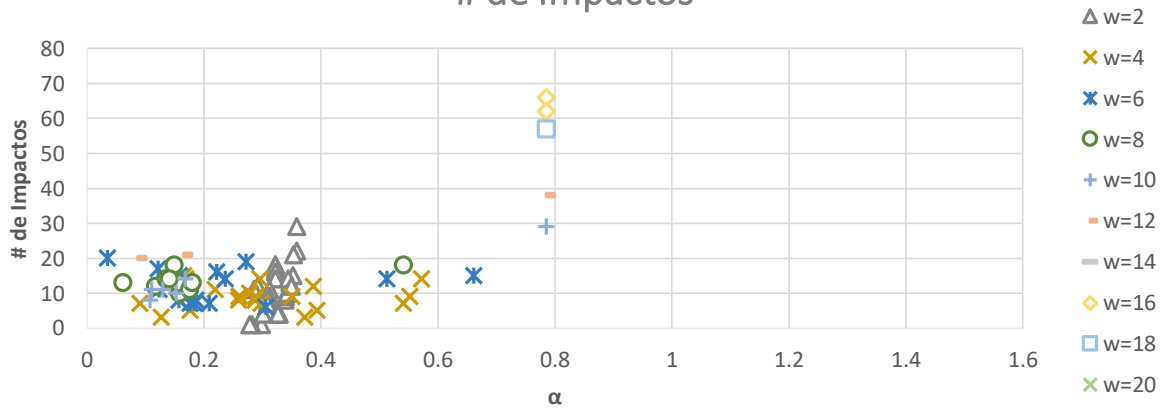
E_T



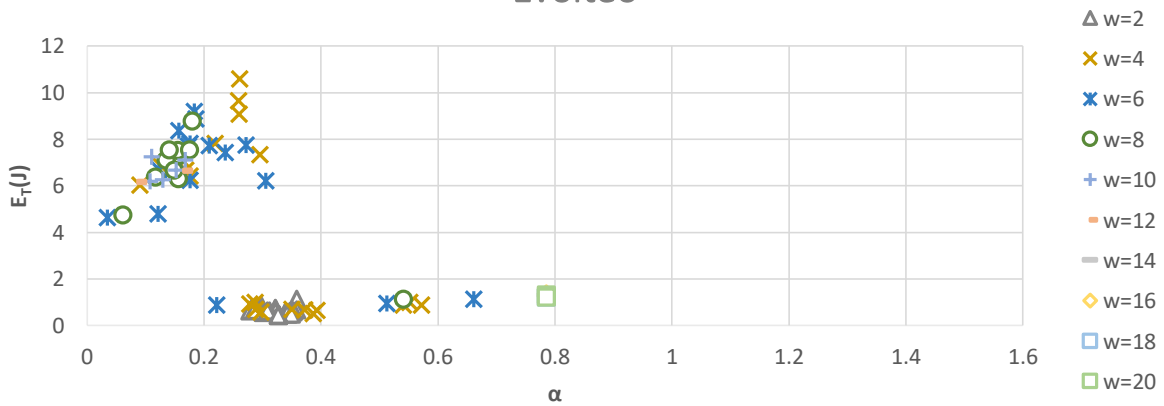
Equi-Velocidad=1.7 m/s (MSAV)



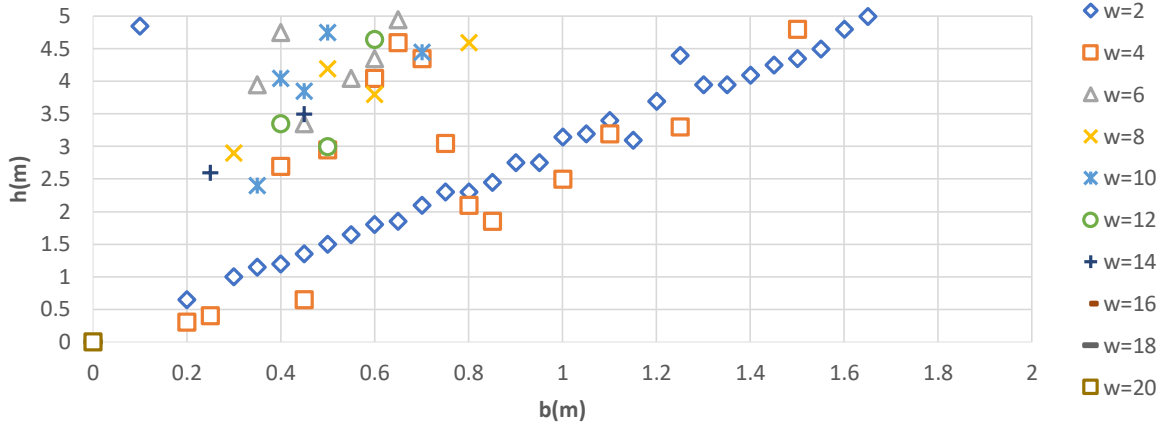
Equi-Velocidad=1.7 m/s (MSAV)
de Impactos



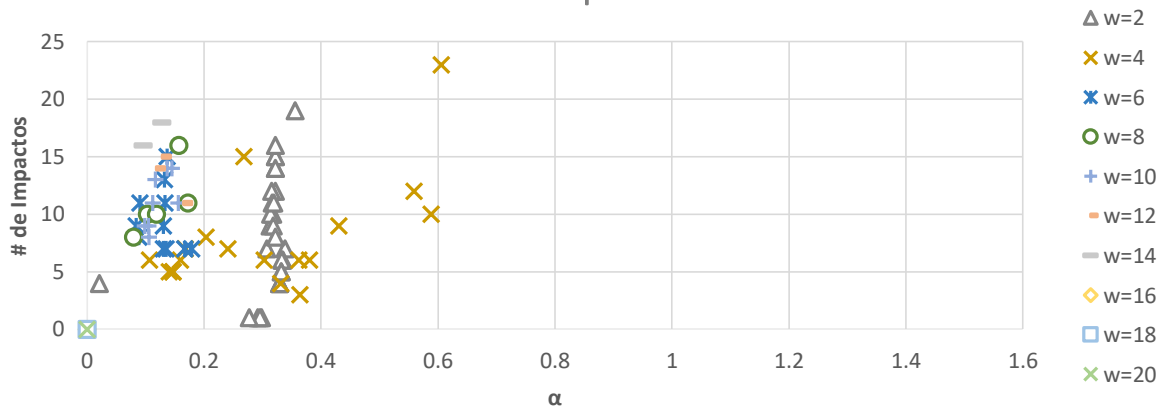
Equi-Velocidad=1.7 m/s (MSAV)
Evolteo



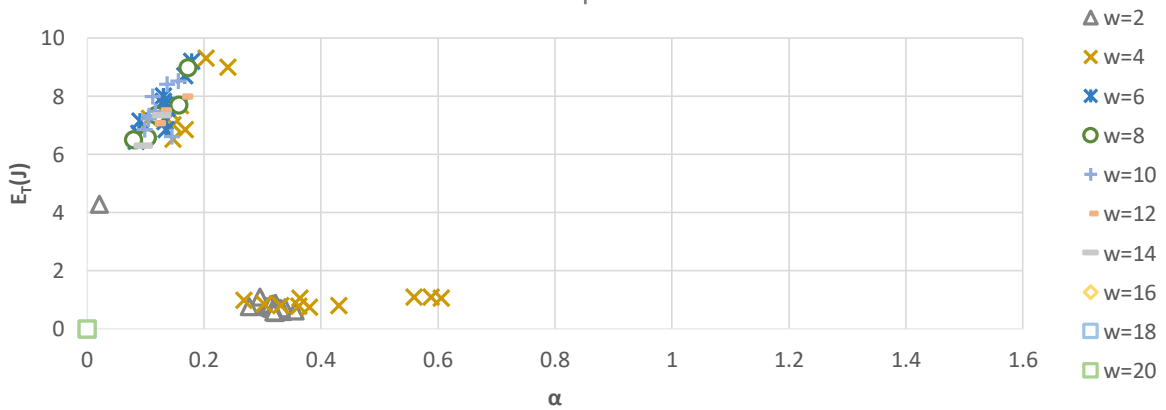
Equi-Velocidad=1.8 m/s (MSAV)



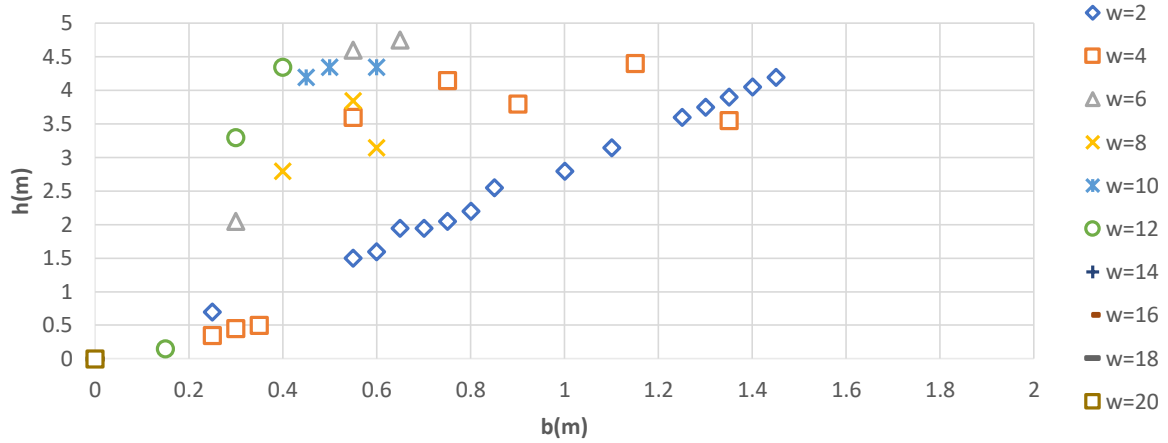
Equi-Velocidad=1.8 m/s (MSAV)
de Impactos



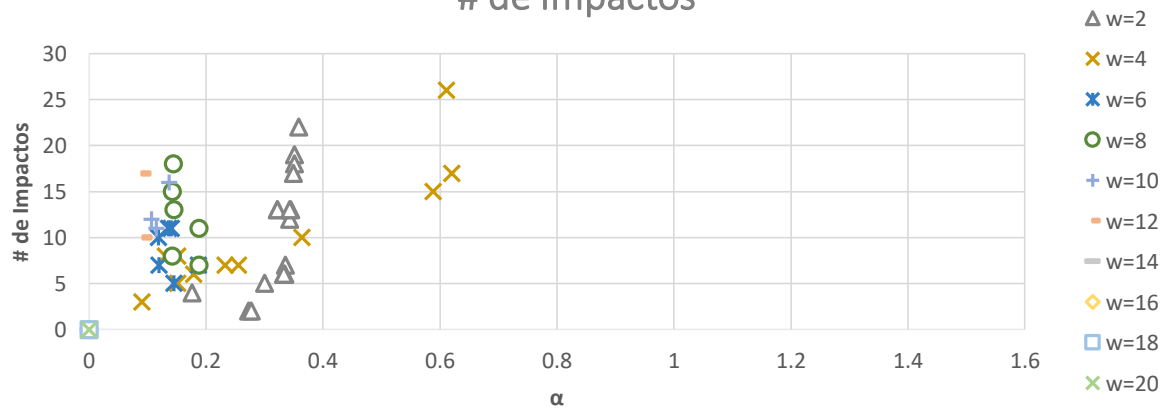
Equi-Velocidad=1.8 m/s (MSAV)
 E_T



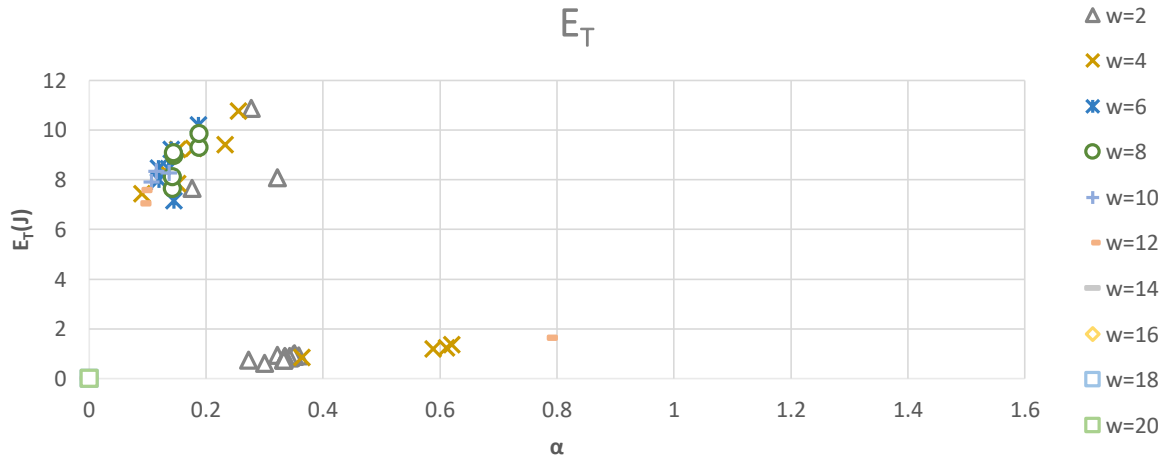
Equi-Velocidad=1.9 m/s (MSAV)



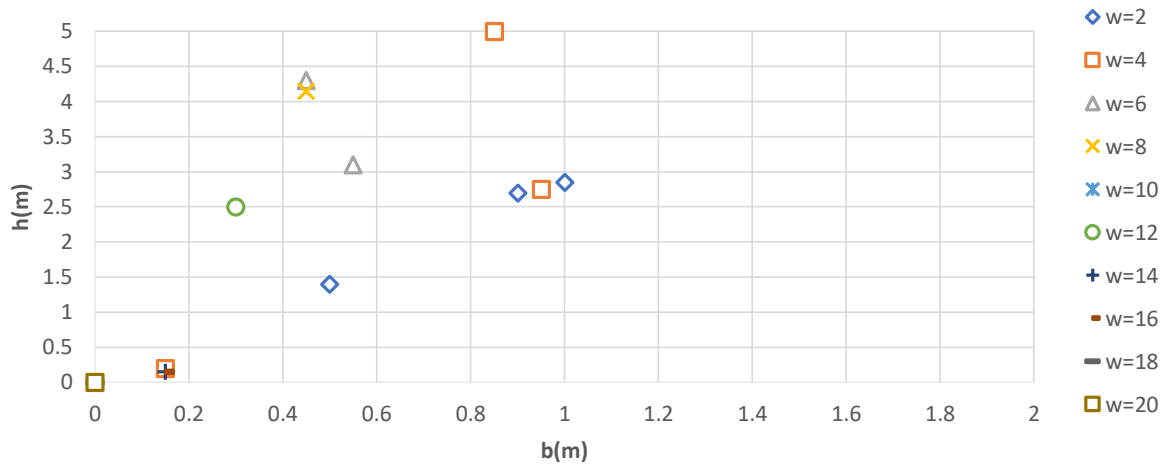
Equi-Velocidad=1.9 m/s (MSAV)
de Impactos



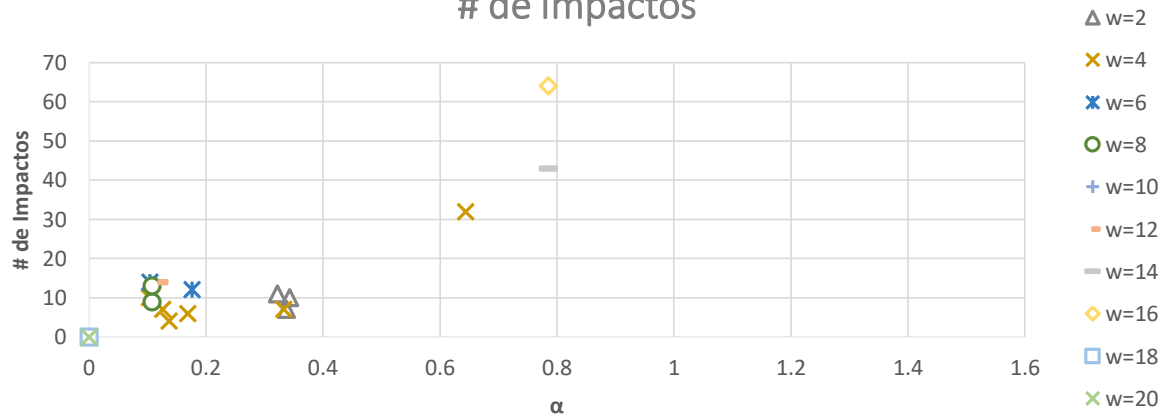
Equi-Velocidad=1.9 m/s (MSAV)
 E_T



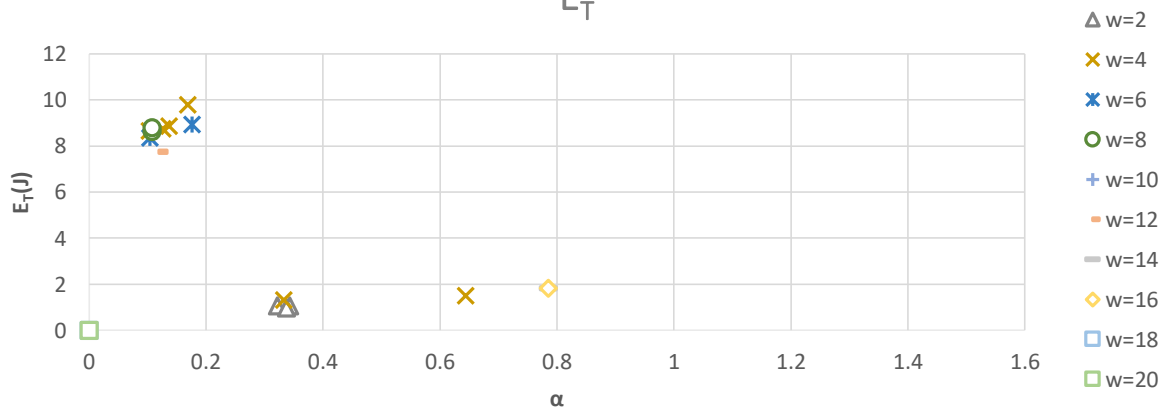
Equi-Velocidad=2 m/s (MSAV)



Equi-Velocidad=2 m/s (MSAV)
de Impactos

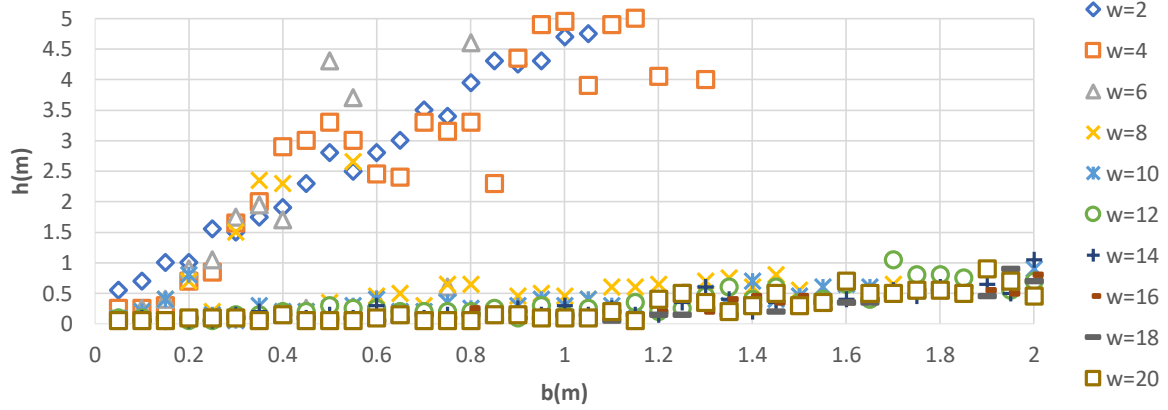


Equi-Velocidad=2 m/s (MSAV)
 E_T

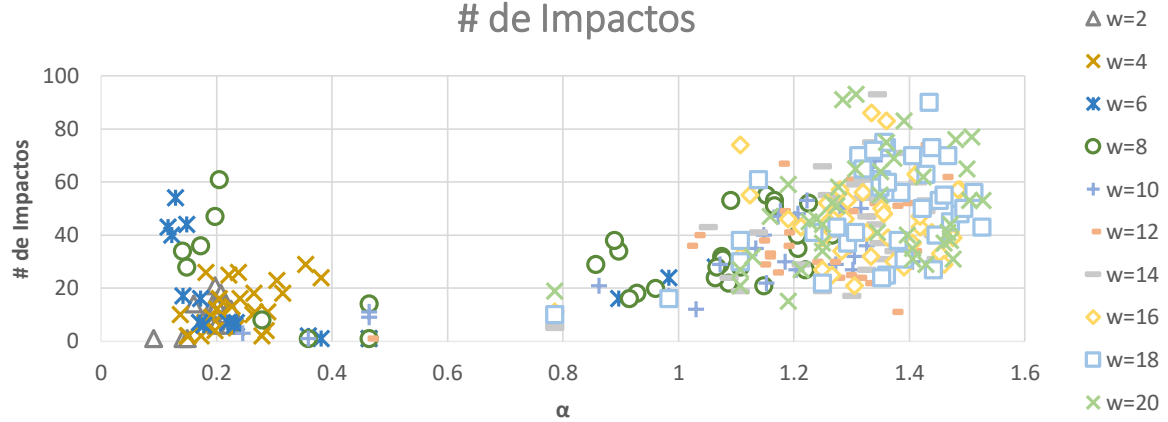


ANEXO 9

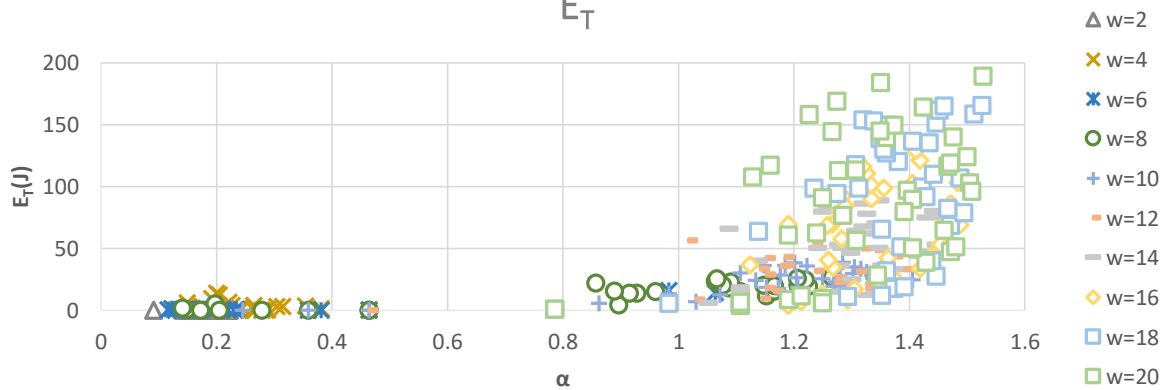
Equi-Desplazamiento=0.05 m (MSAV)



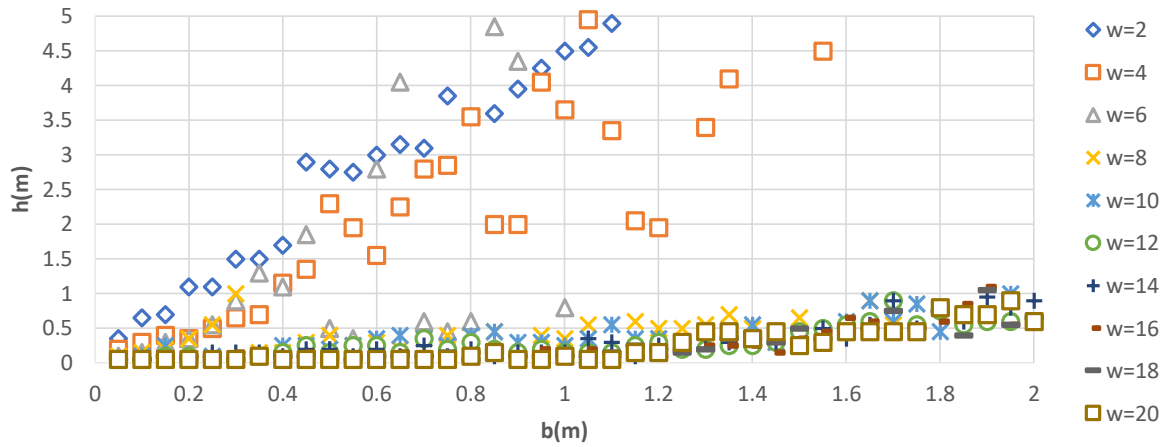
Equi-Desplazamiento=0.05 m (MSAV) # de Impactos



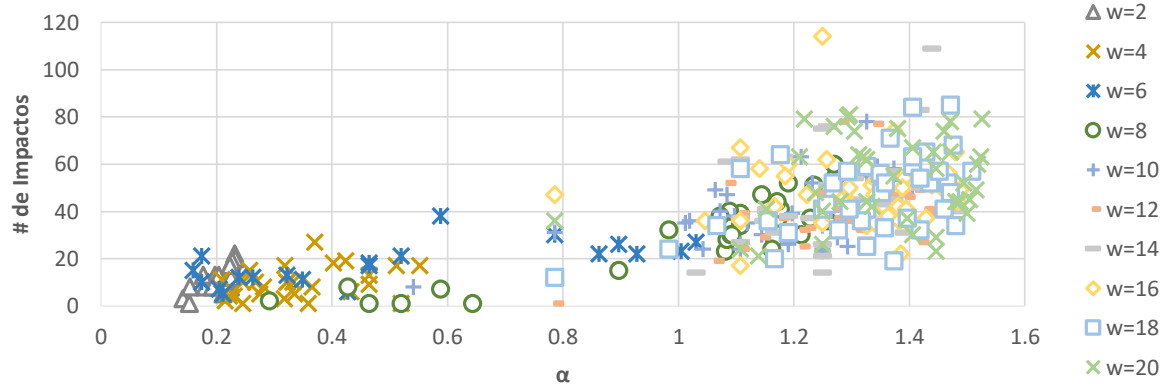
Equi-Desplazamiento=0.05 m (MSAV) E_T



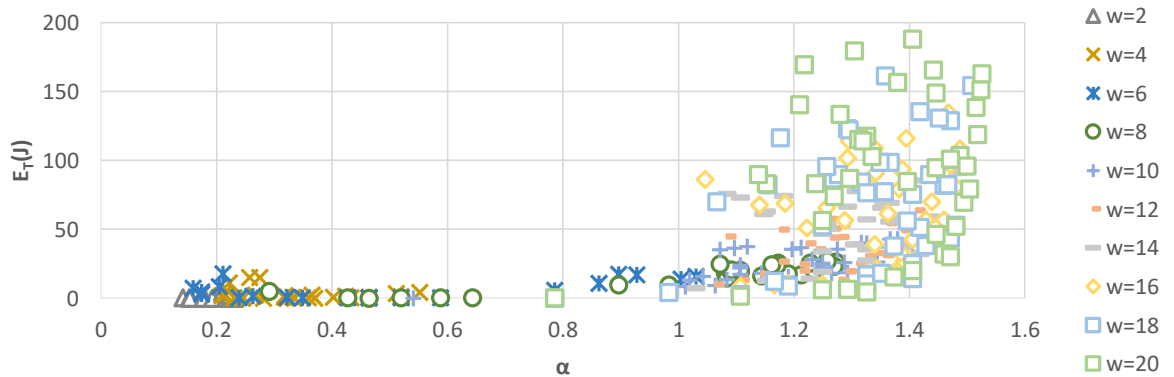
Equi-Desplazamiento=0.1 m (MSAV)



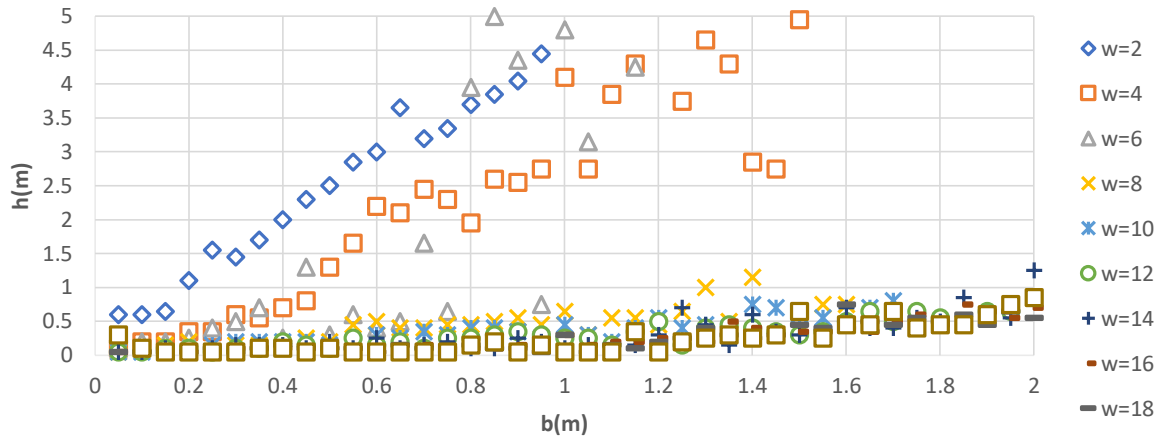
Equi-Desplazamiento=0.1 m (MSAV)
de Impactos



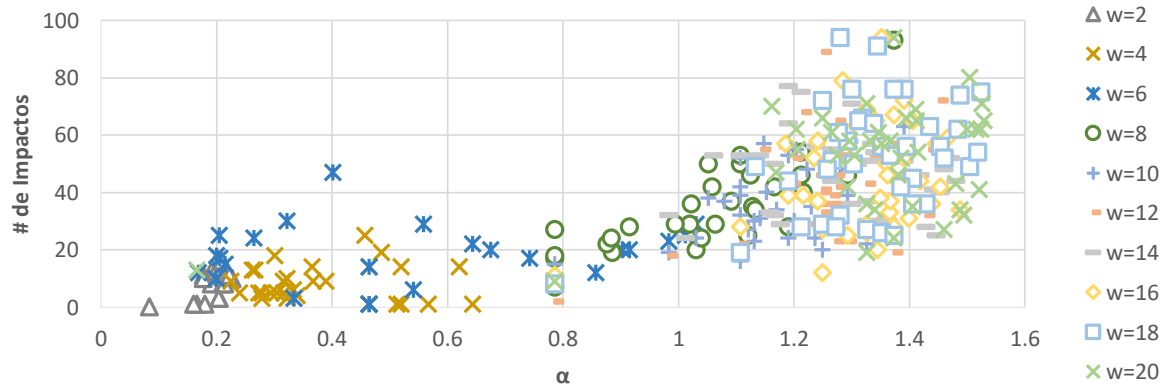
Equi-Desplazamiento=0.1 m (MSAV)
 E_T



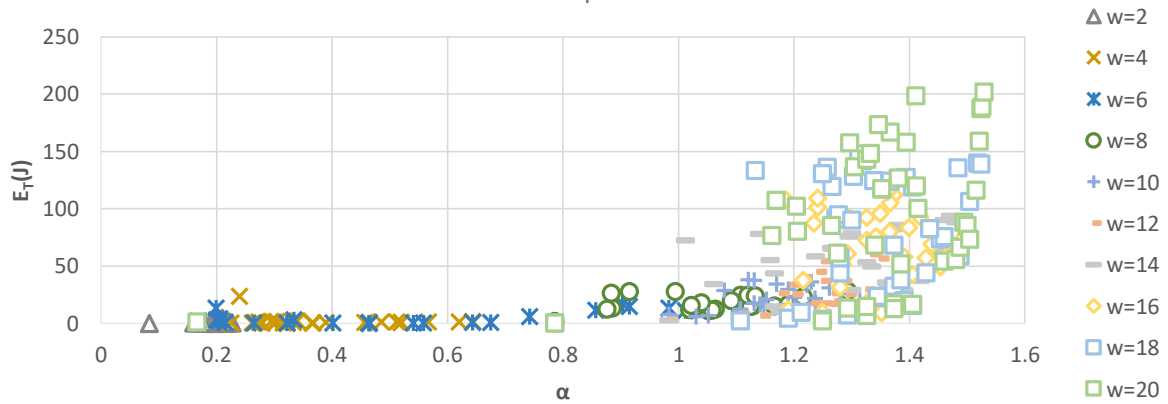
Equi-Desplazamiento=0.15 m (MSAV)



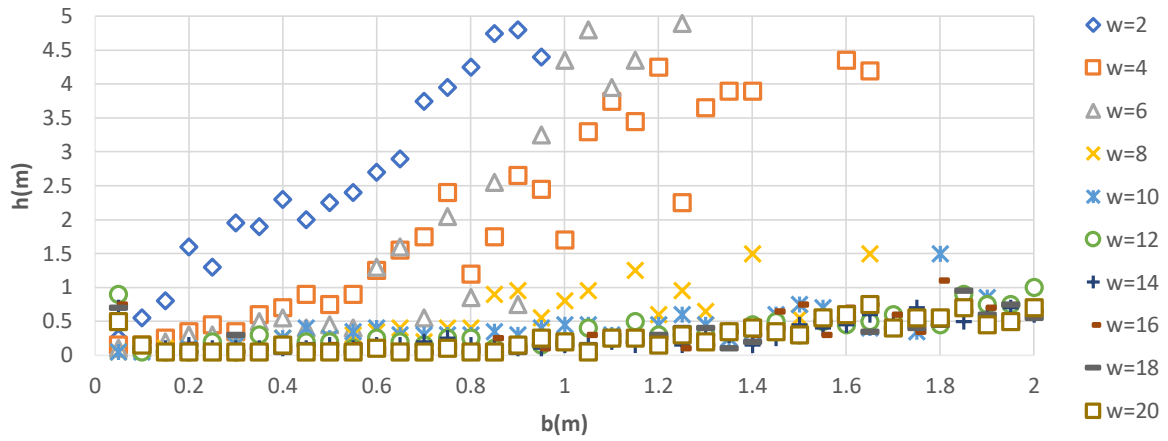
Equi-Desplazamiento=0.15 m (MSAV)
de Impactos



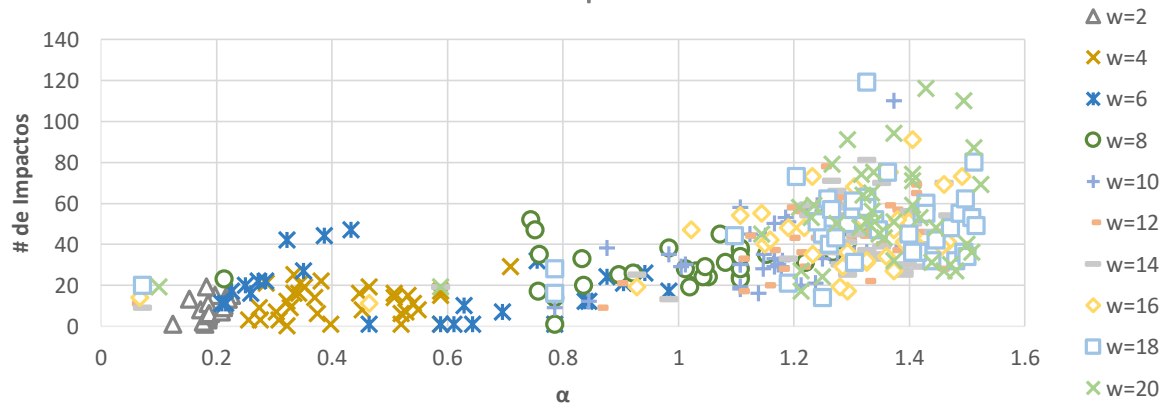
Equi-Desplazamiento=0.15 m (MSAV)
 E_T



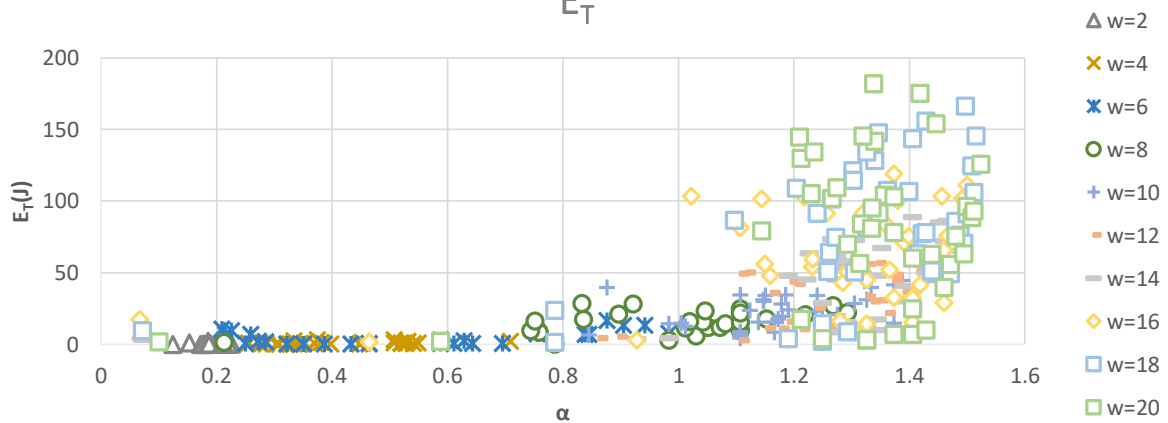
Equi-Desplazamiento=0.2 m (MSAV)



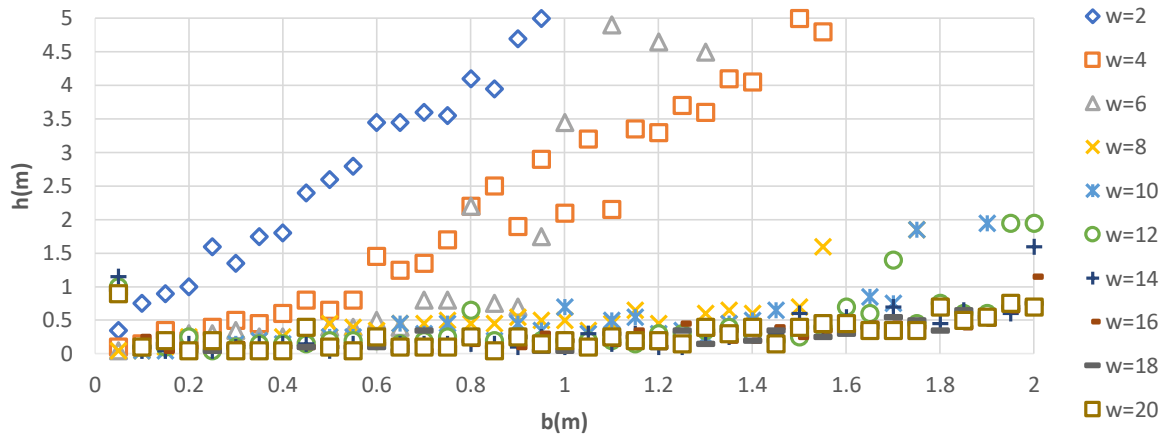
Equi-Desplazamiento=0.2 m (MSAV)
de Impactos



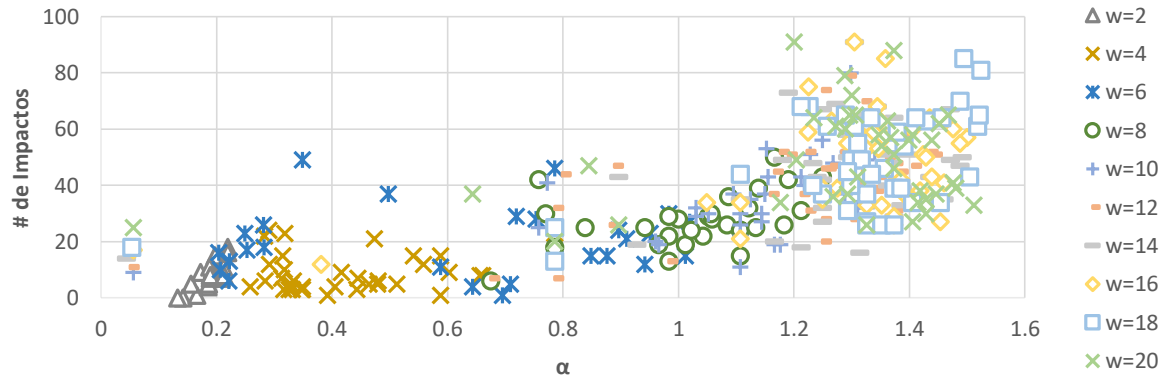
Equi-Desplazamiento=0.2 m (MSAV)
 E_T



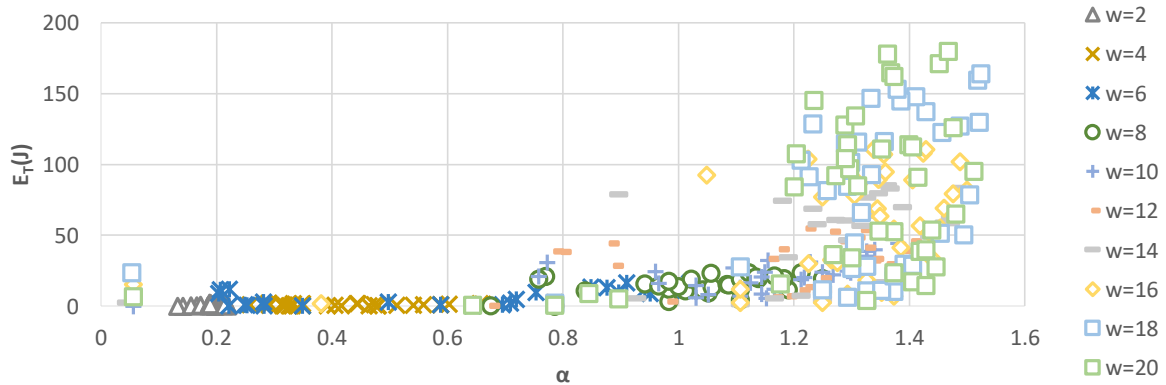
Equi-Desplazamiento=0.25 m (MSAV)



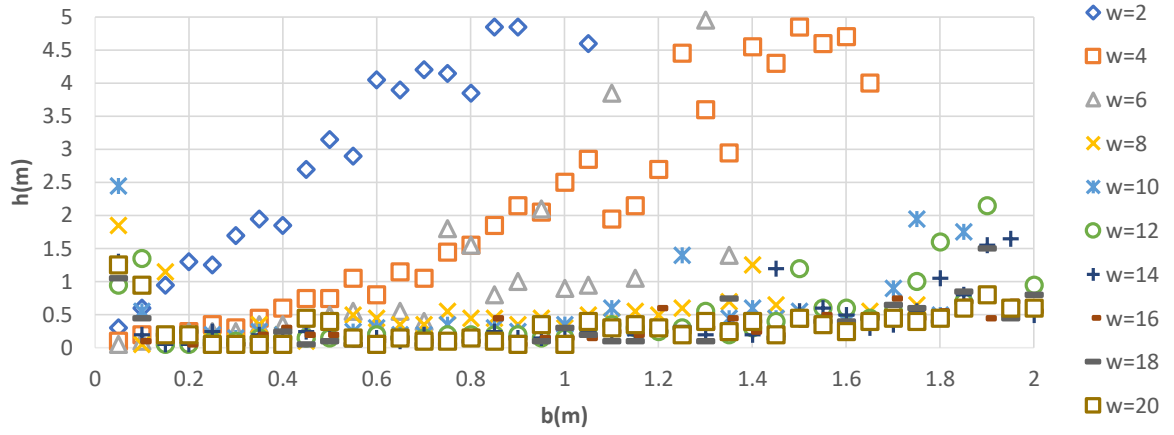
Equi-Desplazamiento=0.25 m (MSAV) # de Impactos



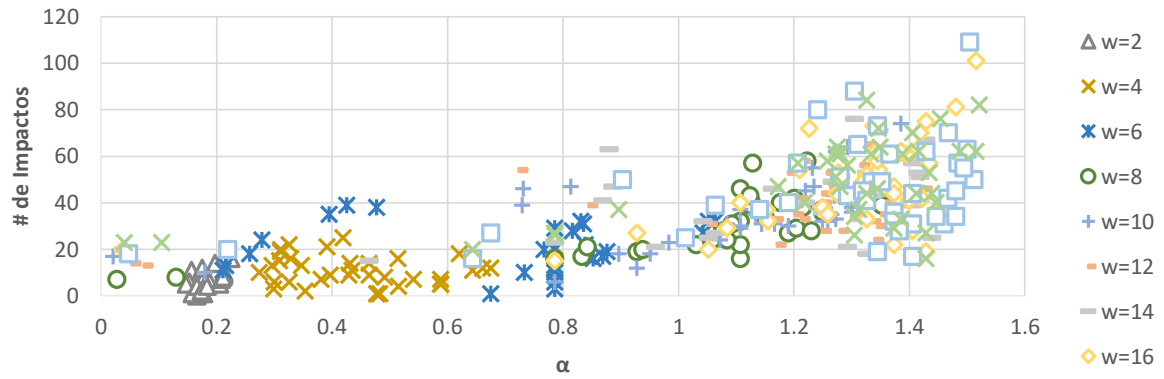
Equi-Desplazamiento=0.25 m (MSAV) E_T



Equi-Desplazamiento=0.3 m (MSAV)

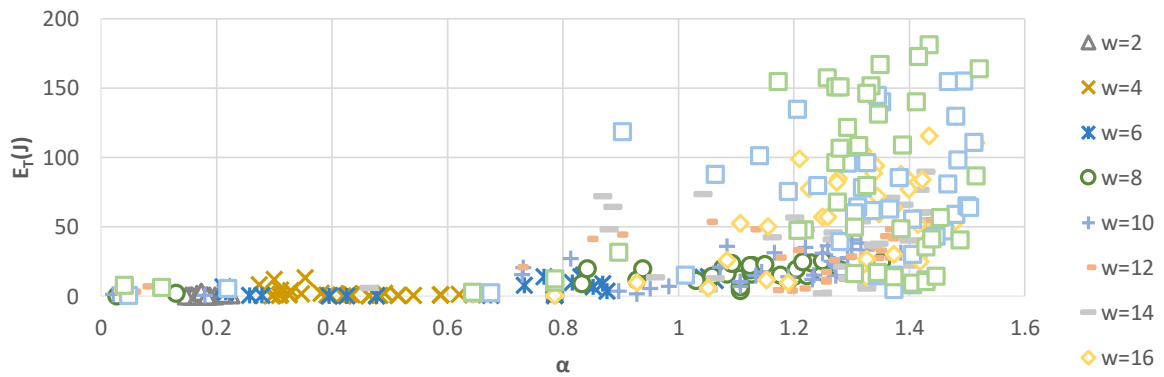


Equi-Desplazamiento=0.3 m (MSAV) # de Impactos

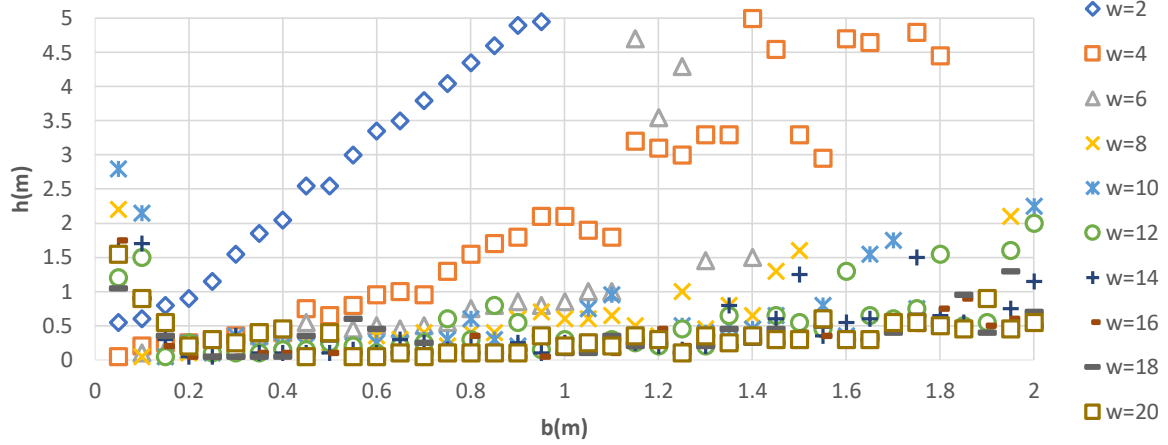


Equi-Desplazamiento=0.3 m (MSAV)

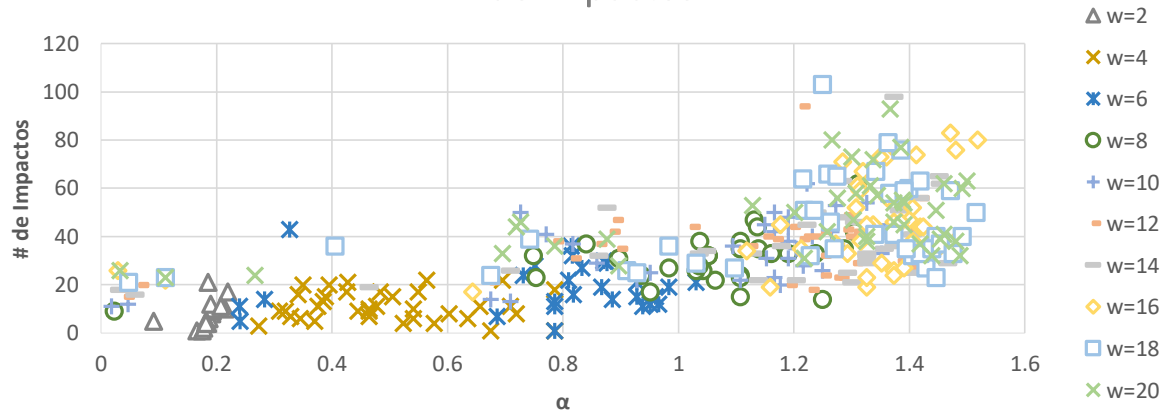
E_T



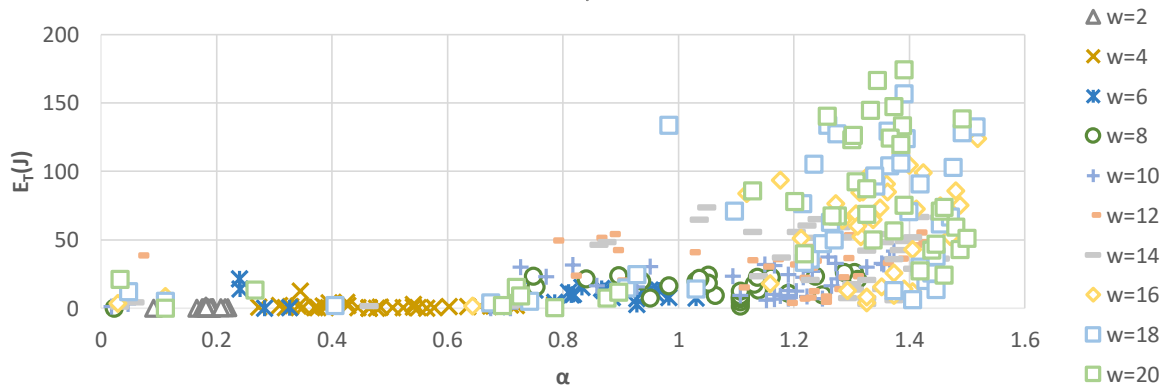
Equi-Desplazamiento=0.35 m (MSAV)



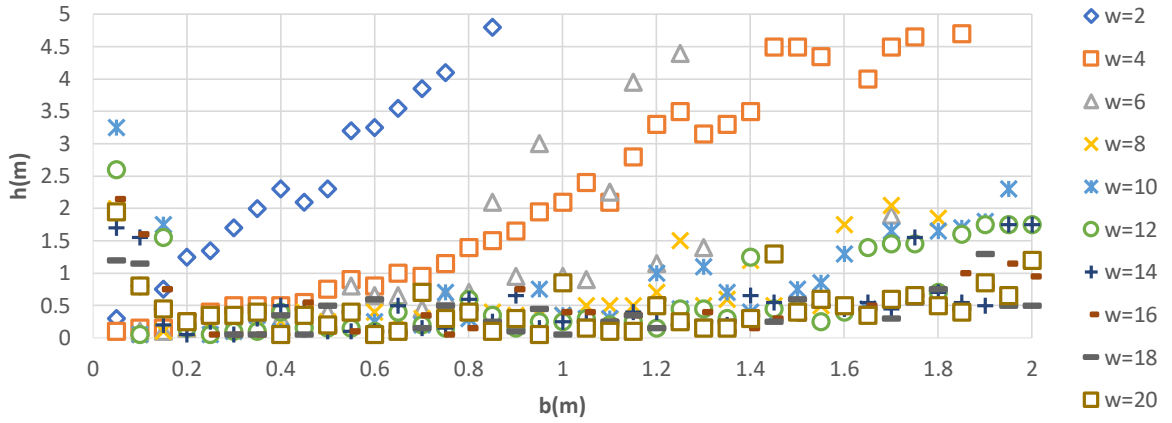
Equi-Desplazamiento=0.35 m (MSAV)
de Impactos



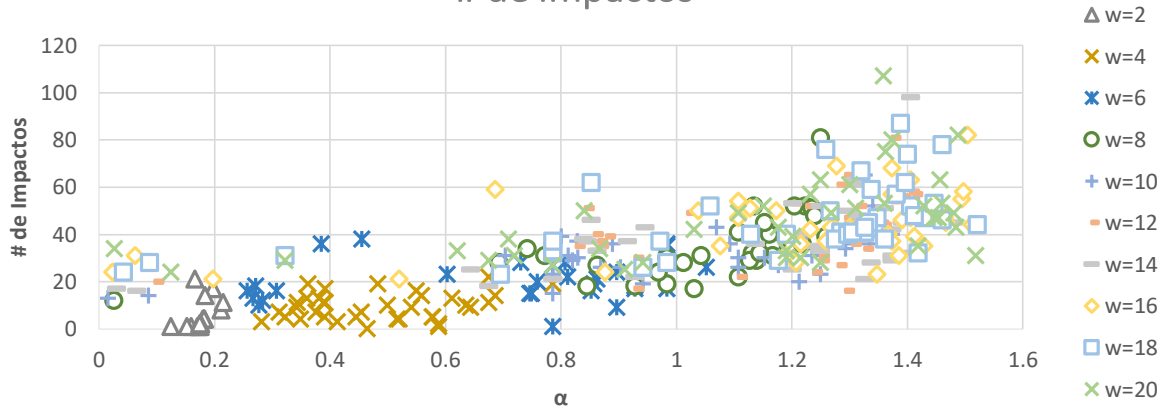
Equi-Desplazamiento=0.35 m (MSAV)
 E_T



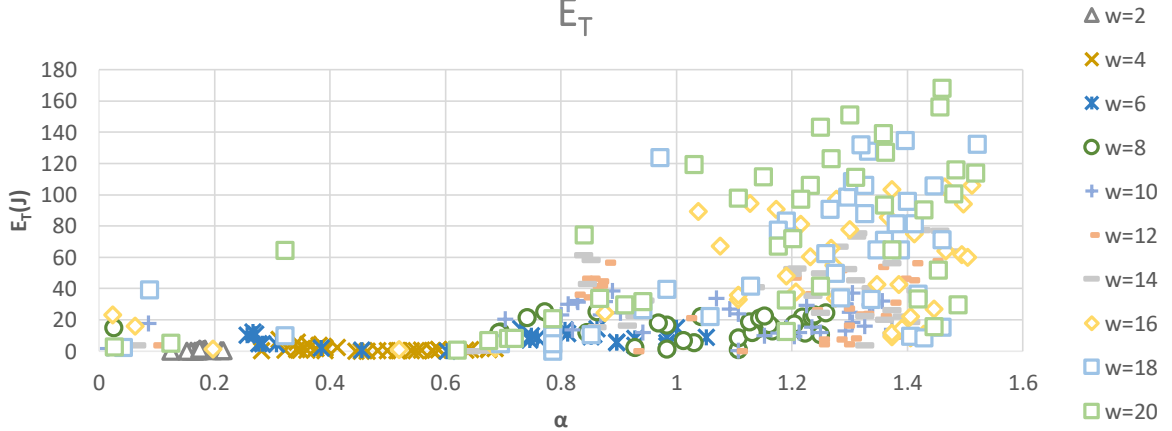
Equi-Desplazamiento=0.4 m (MSAV)



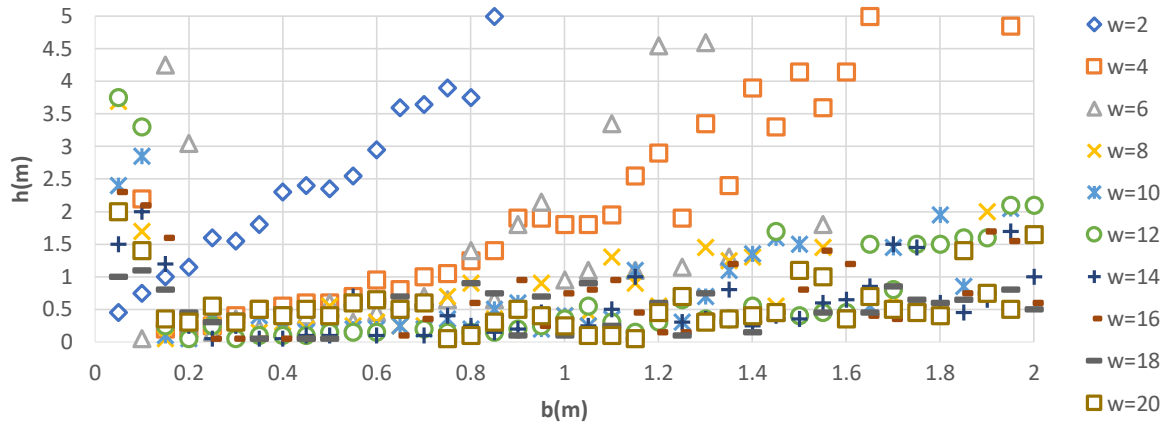
Equi-Desplazamiento=0.4 m (MSAV) # de Impactos



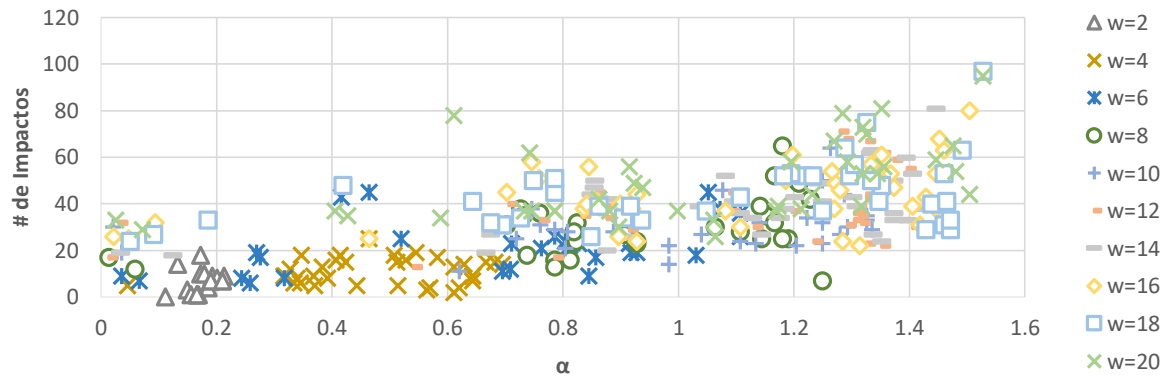
Equi-Desplazamiento=0.4 m (MSAV) E_T



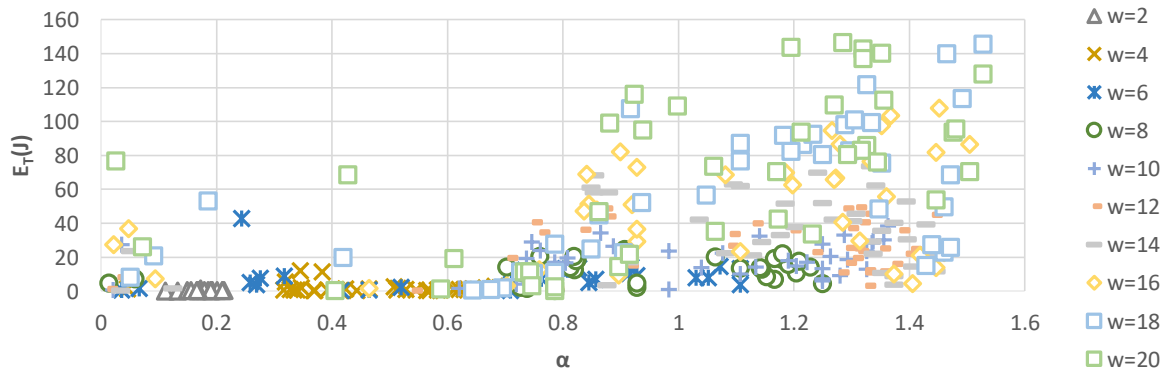
Equi-Desplazamiento=0.45 m (MSAV)



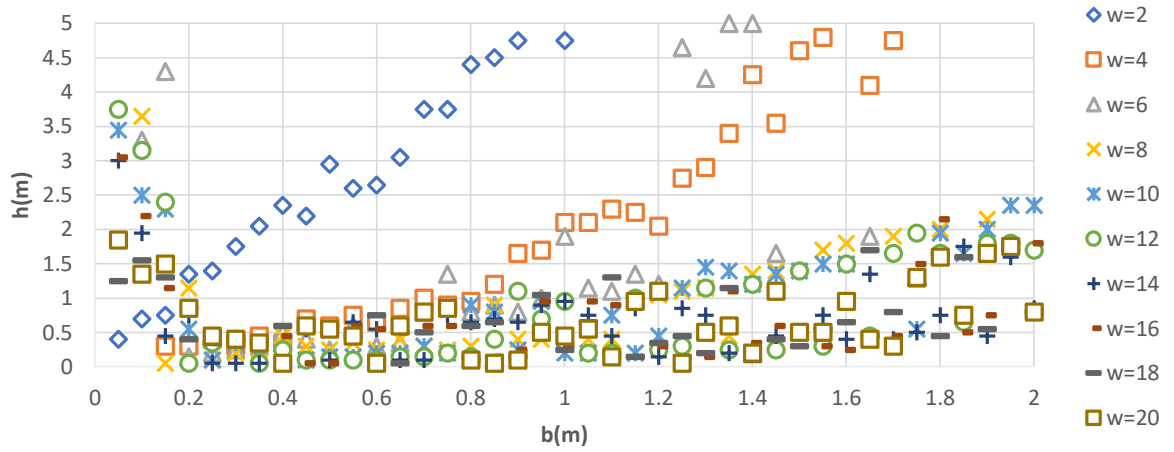
Equi-Desplazamiento=0.45 m (MSAV) # de Impactos



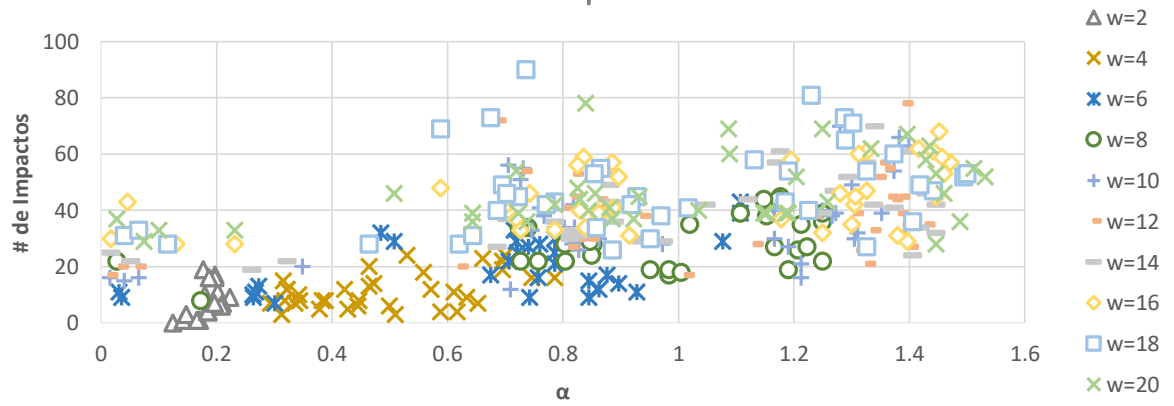
Equi-Desplazamiento=0.45 m (MSAV) E_T



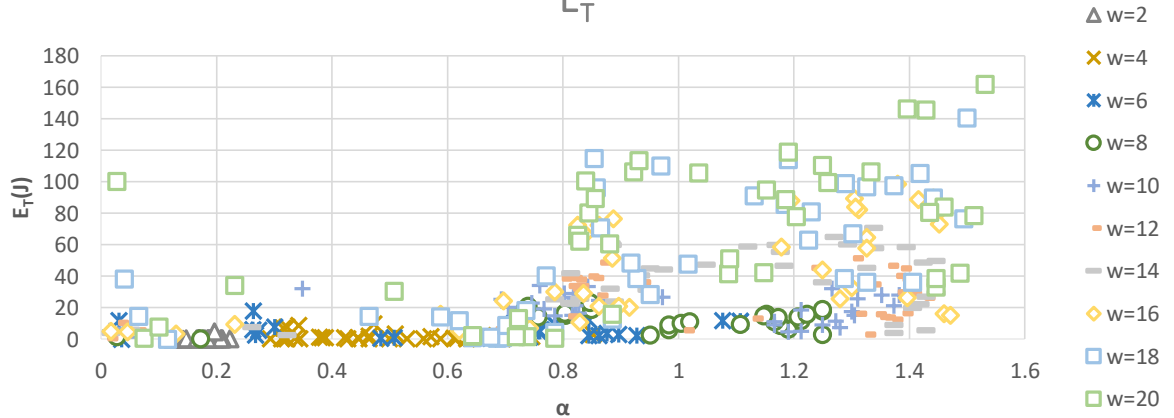
Equi-Desplazamiento=0.5 m (MSAV)



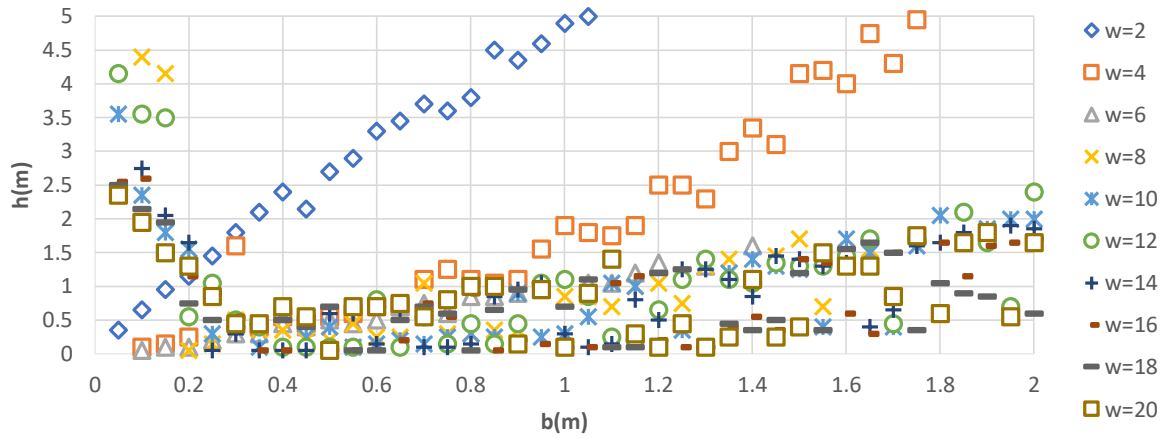
Equi-Desplazamiento=0.5 m (MSAV)
de Impactos



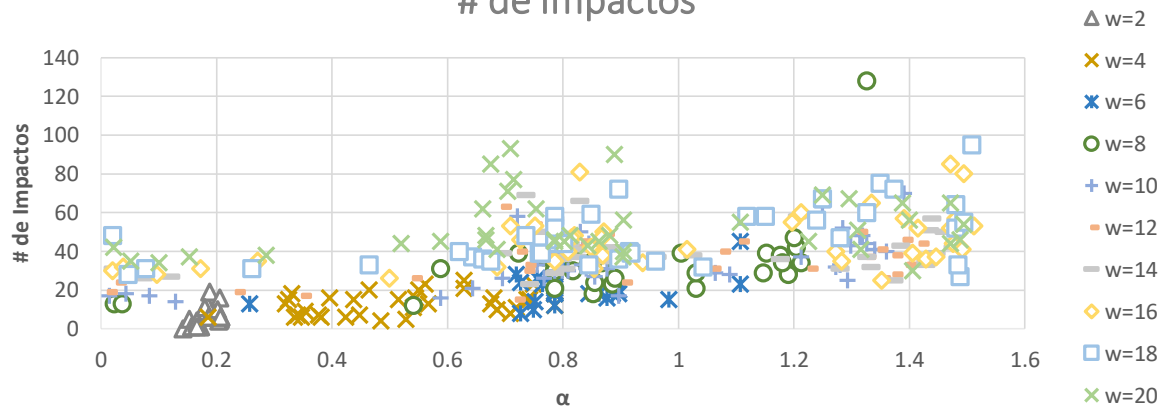
Equi-Desplazamiento=0.5 m (MSAV)
 E_T



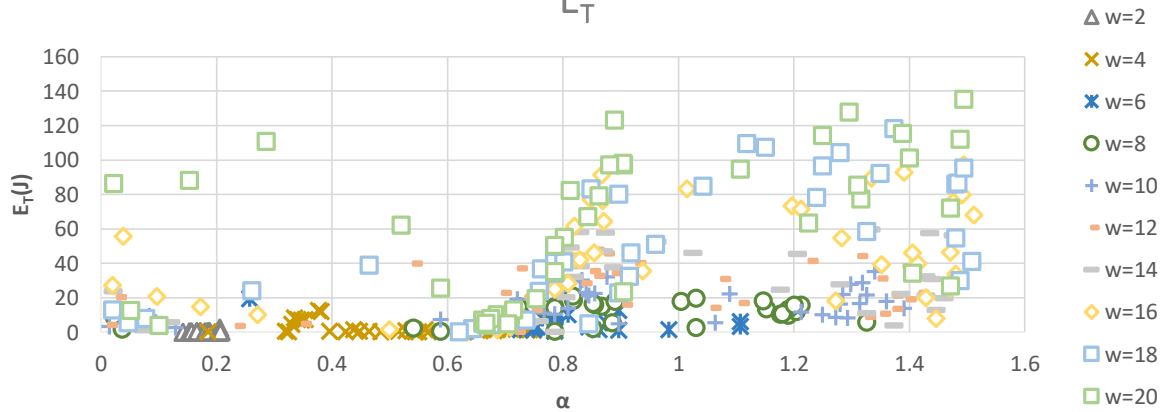
Equi-Desplazamiento=0.55 m (MSAV)



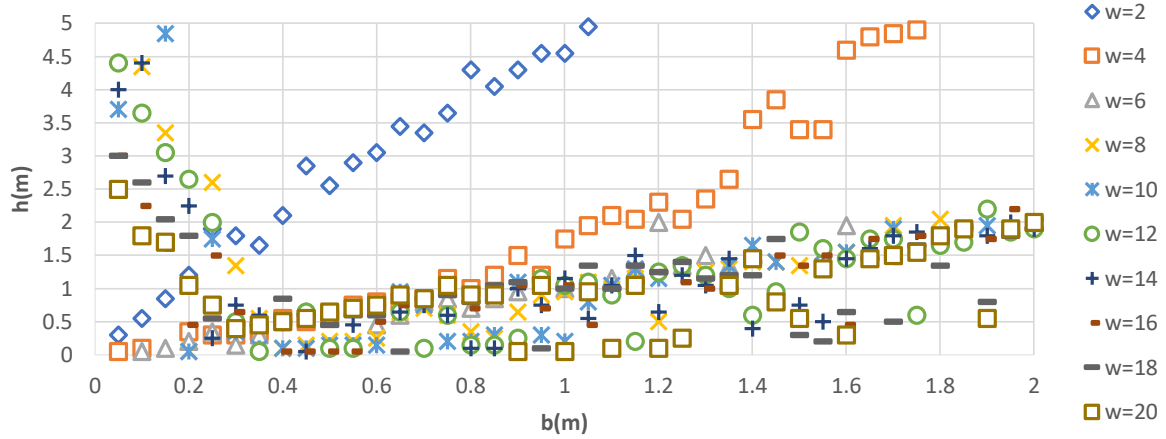
Equi-Desplazamiento=0.55 m (MSAV)
de Impactos



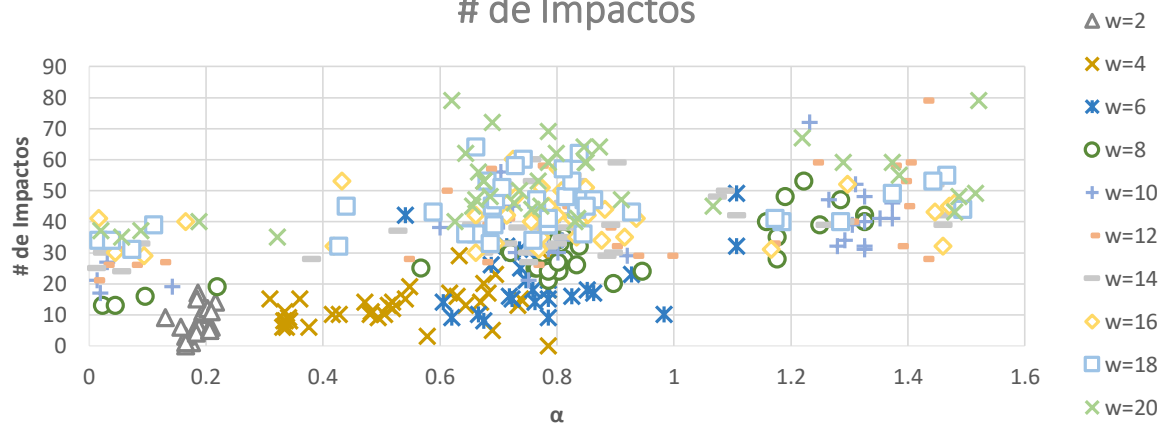
Equi-Desplazamiento=0.55 m (MSAV)
 E_T



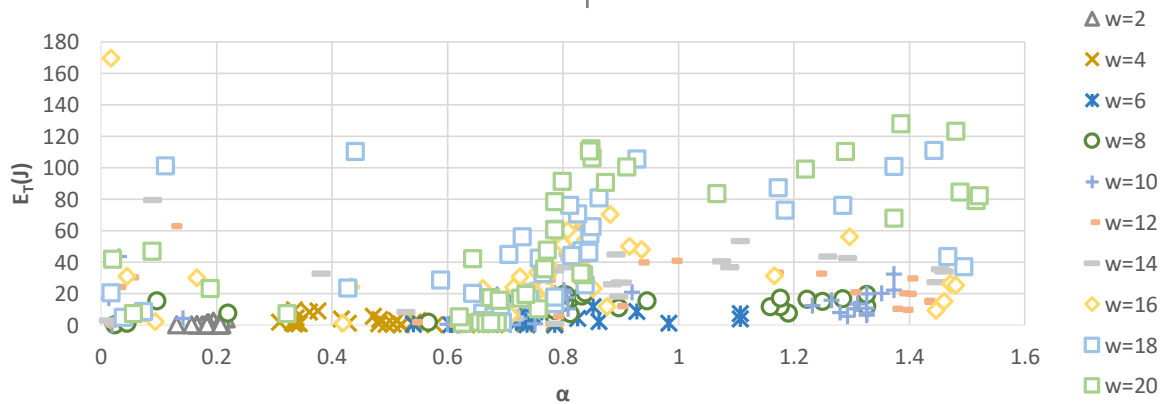
Equi-Desplazamiento=0.6 m (MSAV)



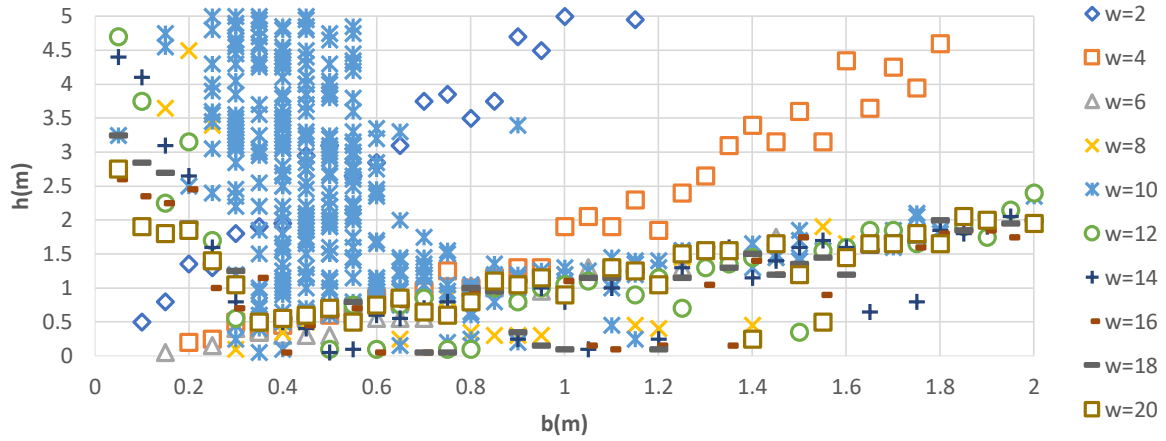
Equi-Desplazamiento=0.6 m (MSAV)
de Impactos



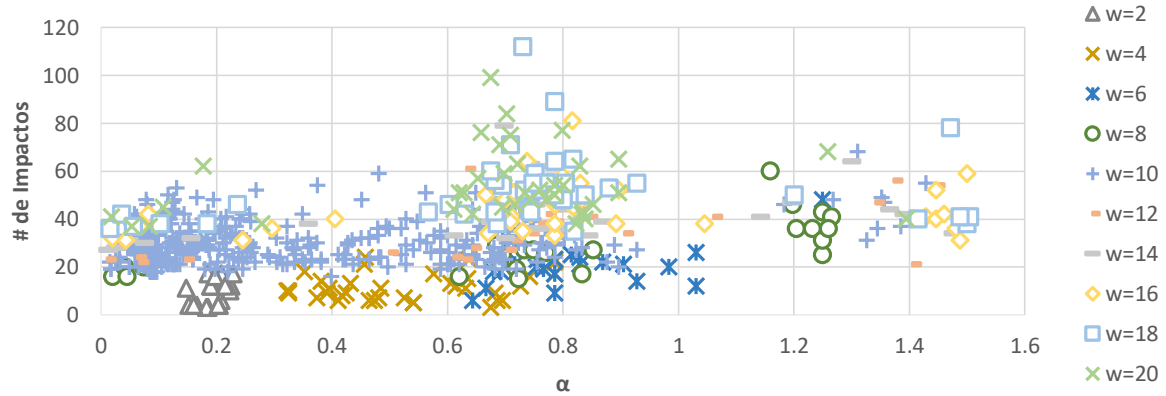
Equi-Desplazamiento=0.6 m (MSAV)
 E_T



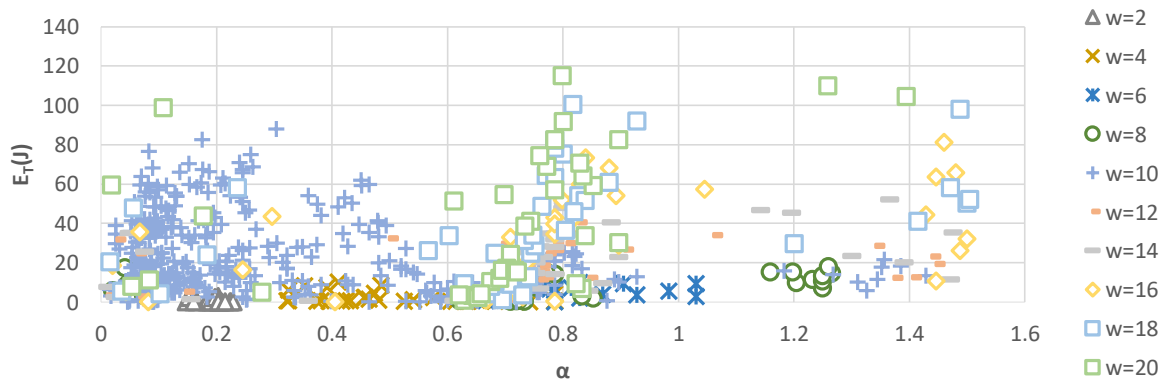
Equi-Desplazamiento=0.65 m (MSAV)



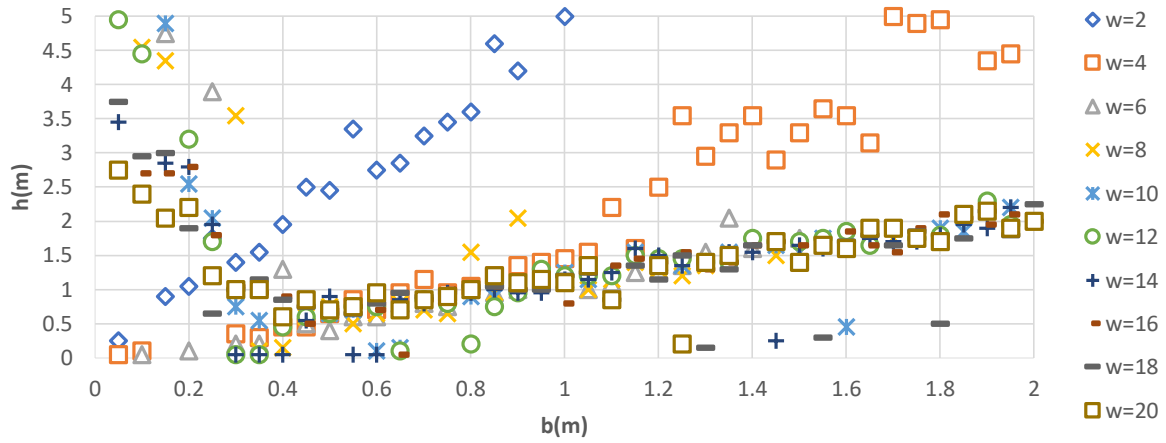
Equi-Desplazamiento=0.65 m (MSAV) # de Impactos



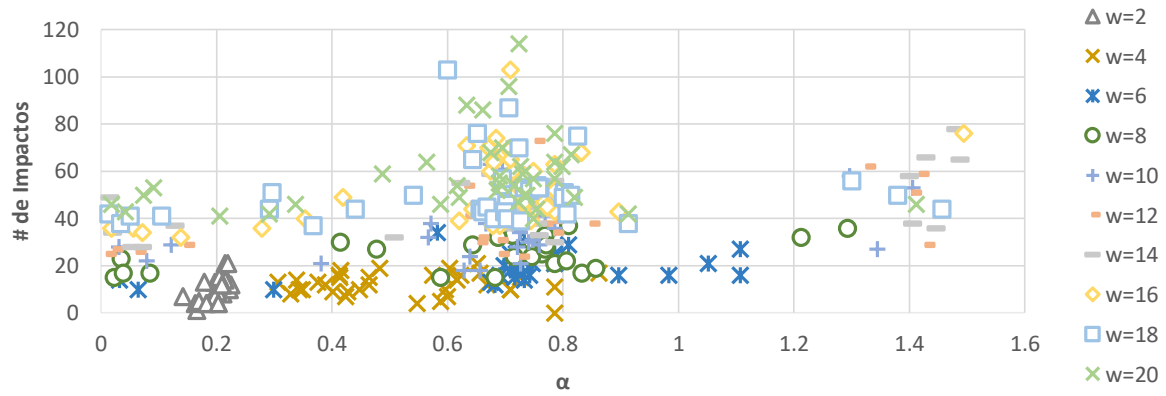
Equi-Desplazamiento=0.65 m (MSAV) E_T



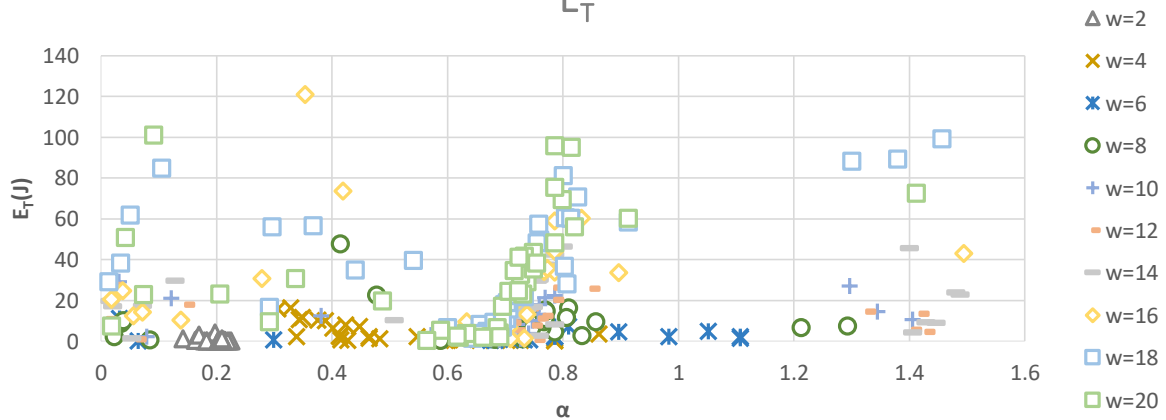
Equi-Desplazamiento=0.7 m (MSAV)



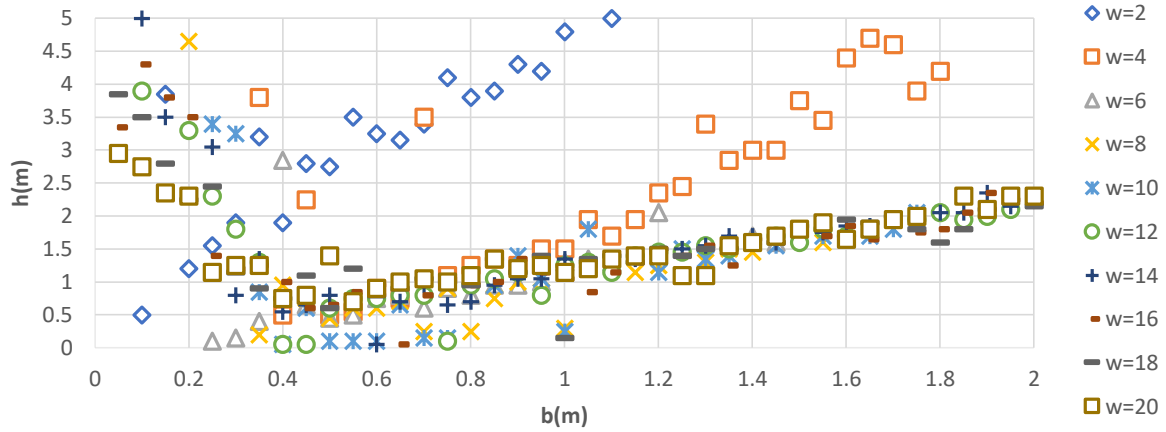
Equi-Desplazamiento=0.7 m (MSAV)
de Impactos



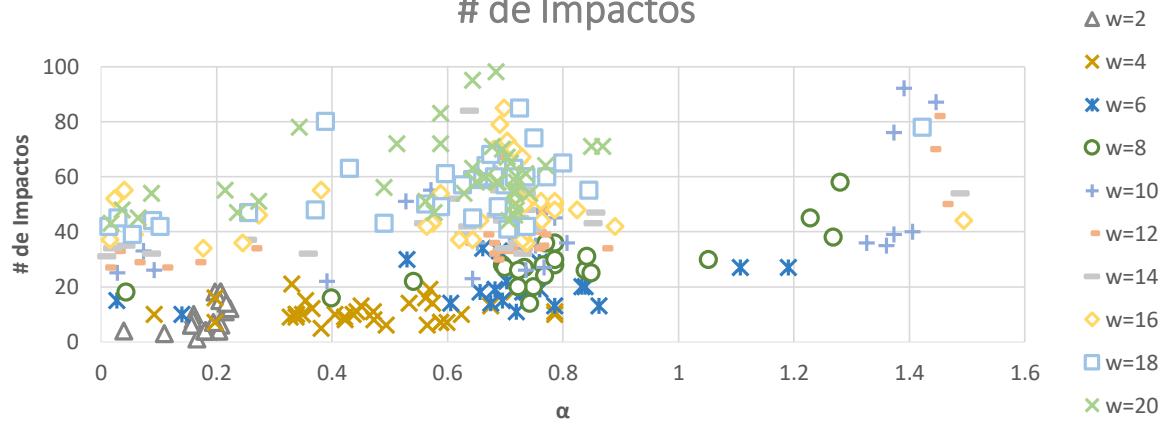
Equi-Desplazamiento=0.7 m (MSAV)
 E_T



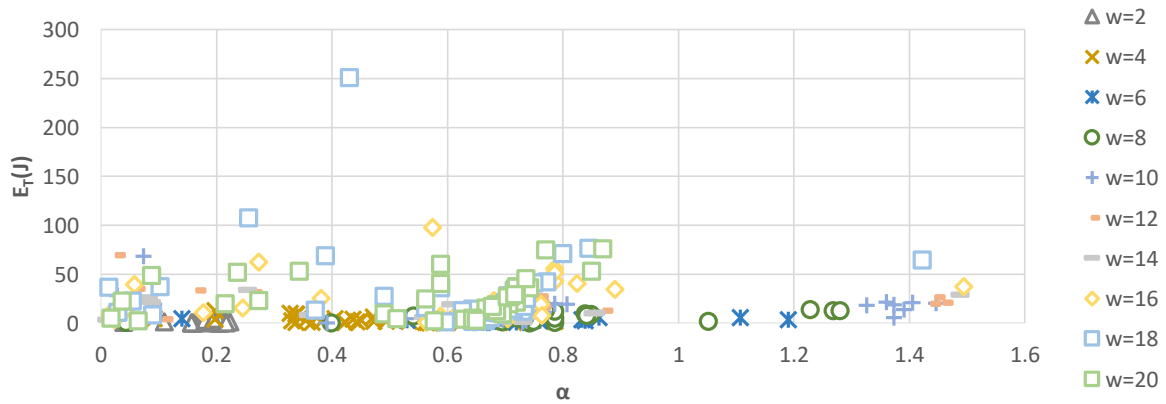
Equi-Desplazamiento=0.75 m (MSAV)



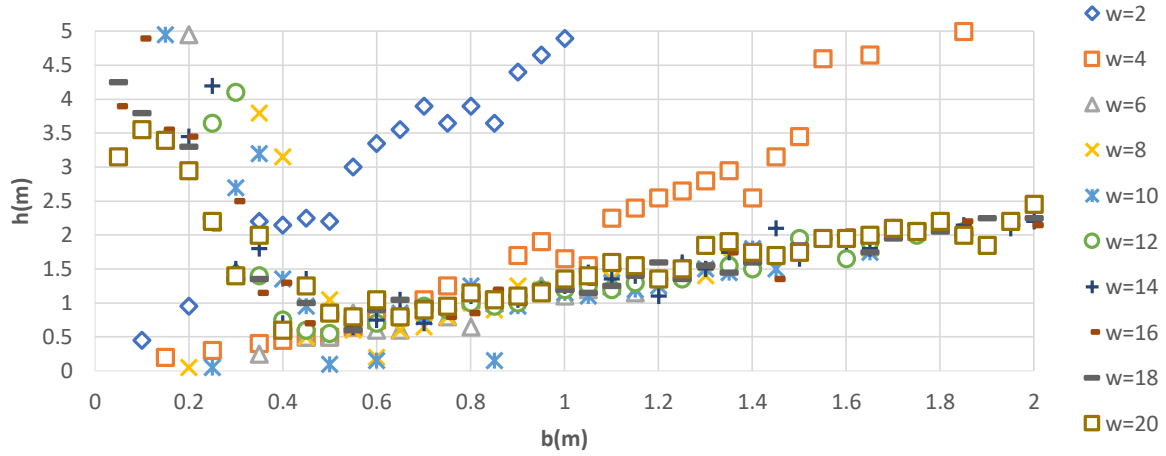
Equi-Desplazamiento=0.75 m (MSAV)
de Impactos



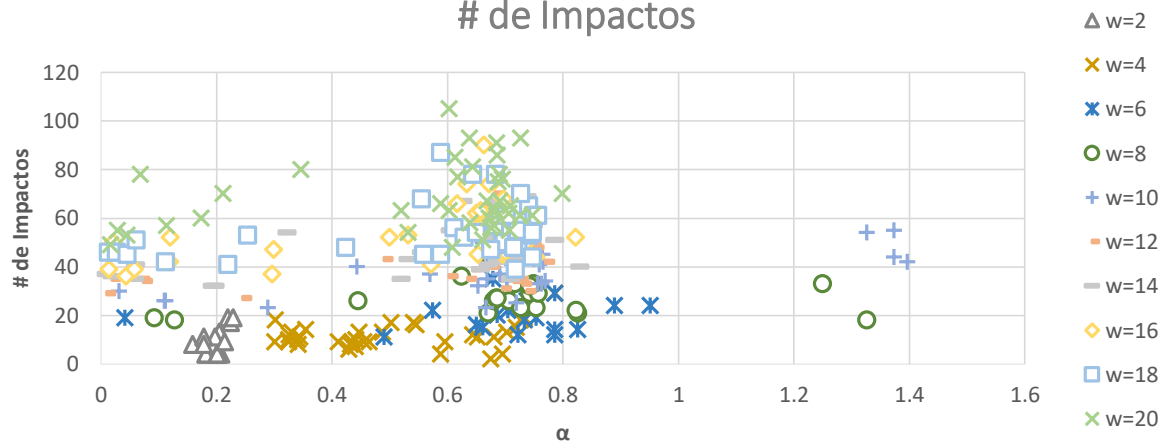
Equi-Desplazamiento=0.75 m (MSAV)
 E_T



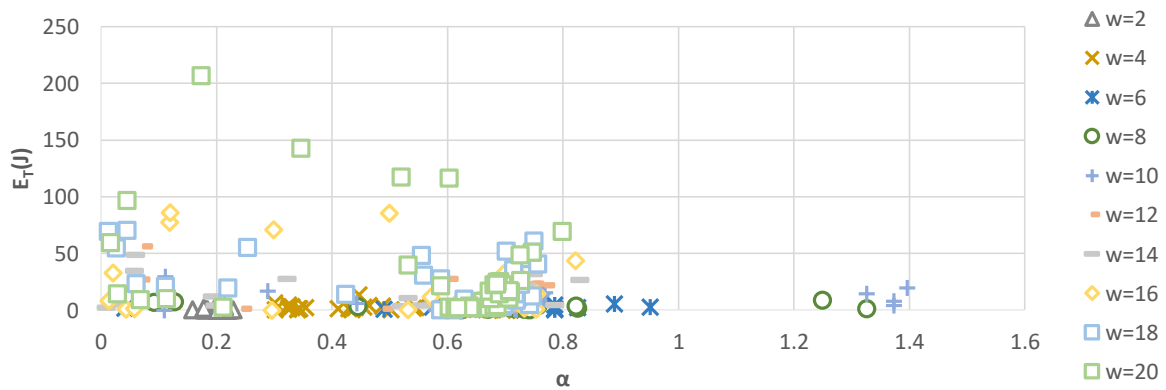
Equi-Desplazamiento=0.8 m (MSAV)



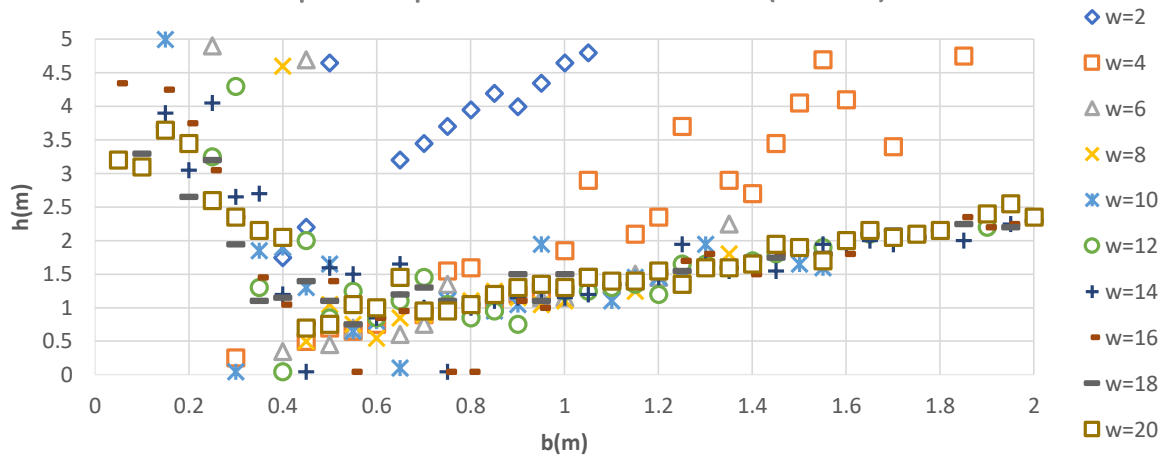
Equi-Desplazamiento=0.8 m (MSAV)
de Impactos



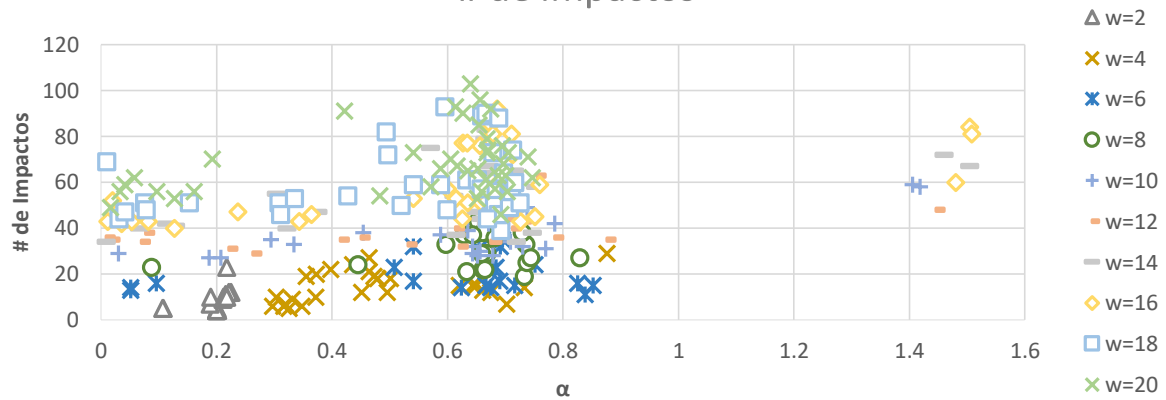
Equi-Desplazamiento=0.8 m (MSAV)
 E_T



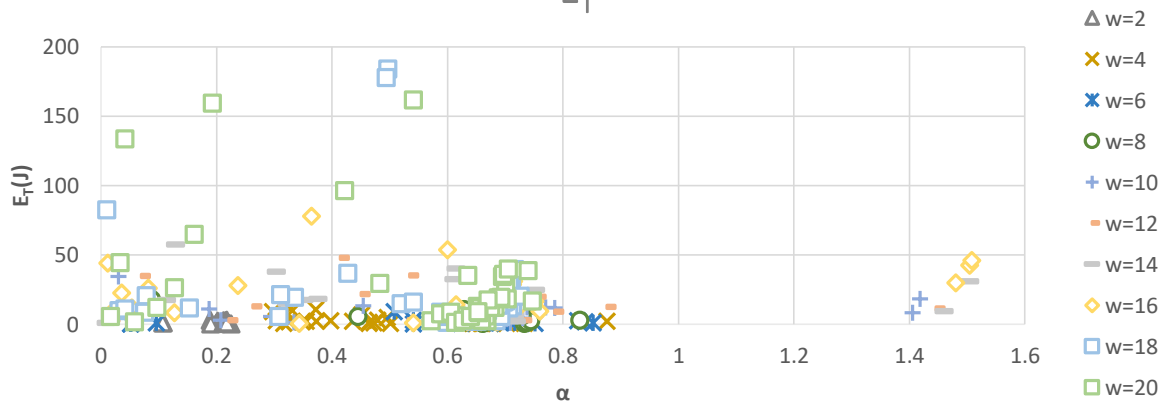
Equi-Desplazamiento=0.85 m (MSAV)



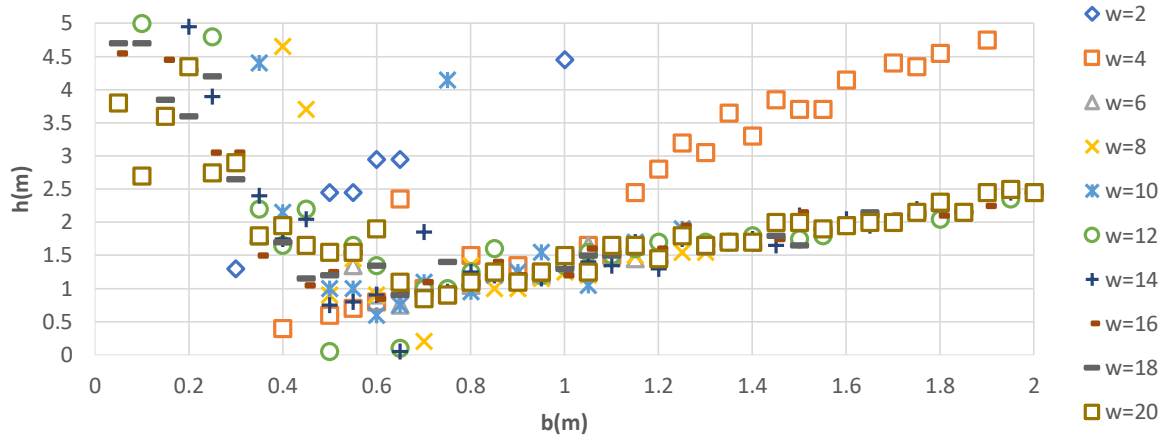
Equi-Desplazamiento=0.85 m (MSAV)
de Impactos



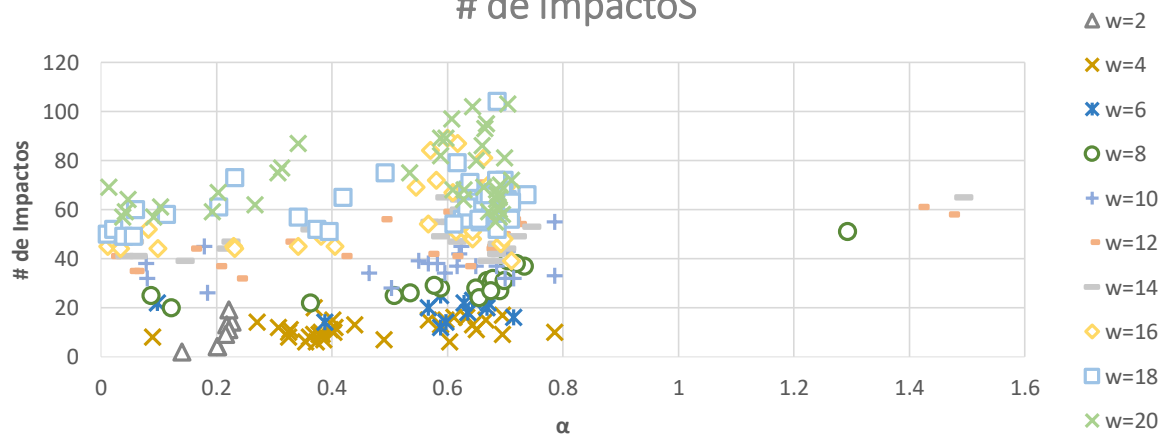
Equi-Desplazamiento=0.85 m (MSAV)
 E_T



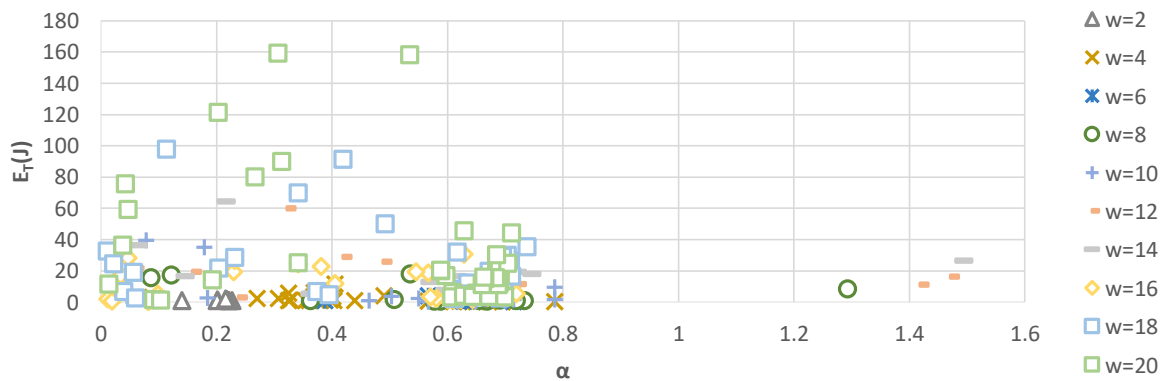
Equi-Desplazamiento=0.9 m (MSAV)



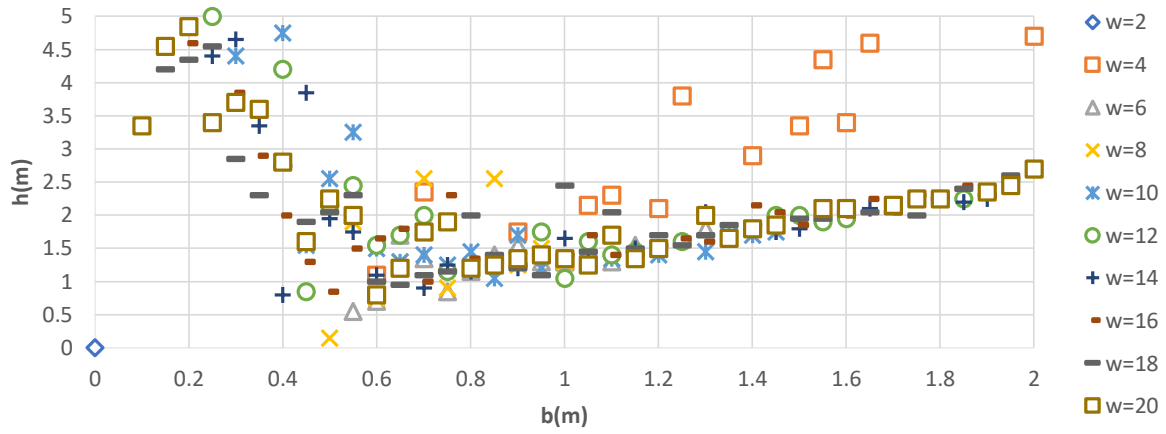
Equi-Desplazamiento=0.9 m (MSAV)
de Impactos



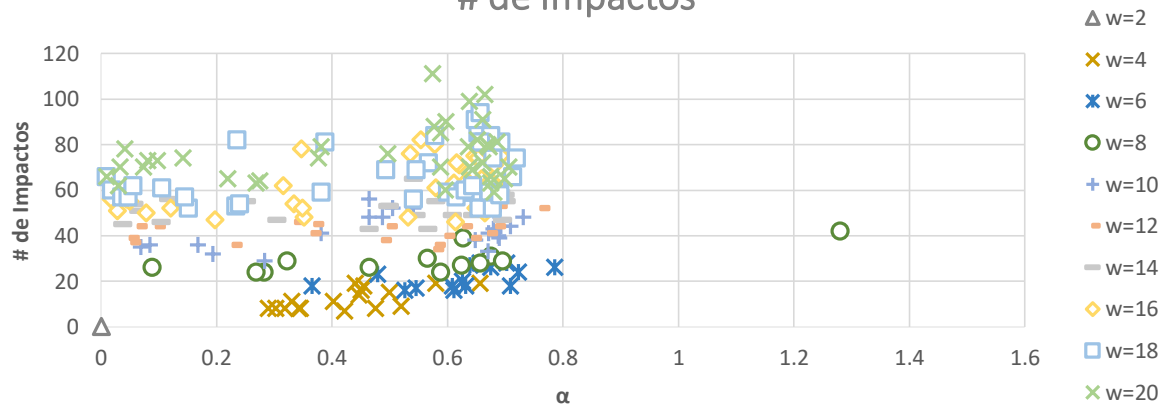
Equi-Desplazamiento=0.9 m (MSAV)
 E_T



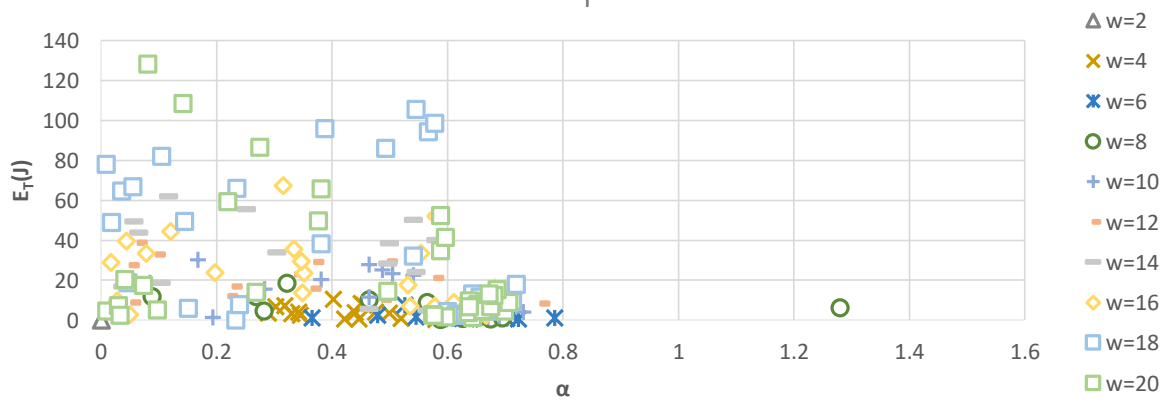
Equi-Desplazamiento=0.95 m (MSAV)



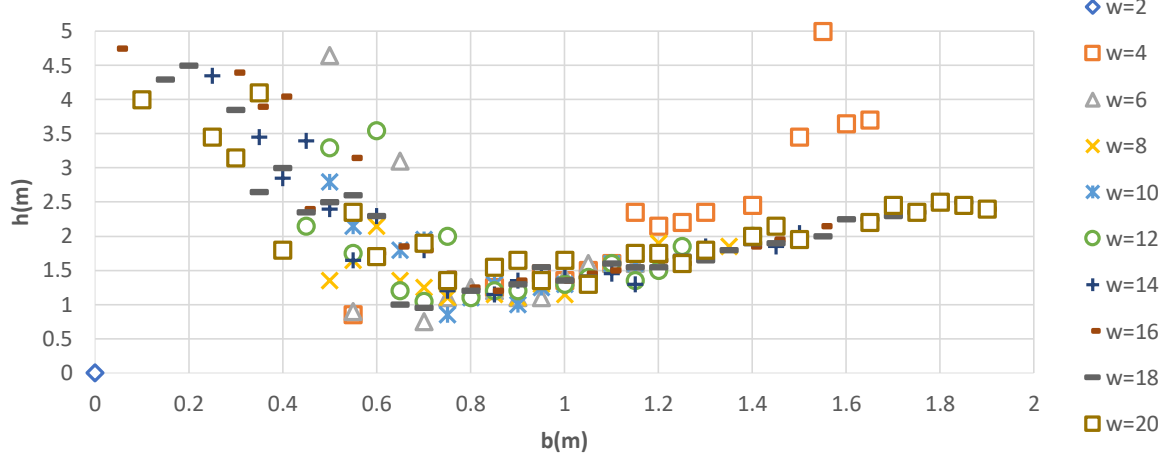
Equi-Desplazamiento=0.95 m (MSAV)
de Impactos



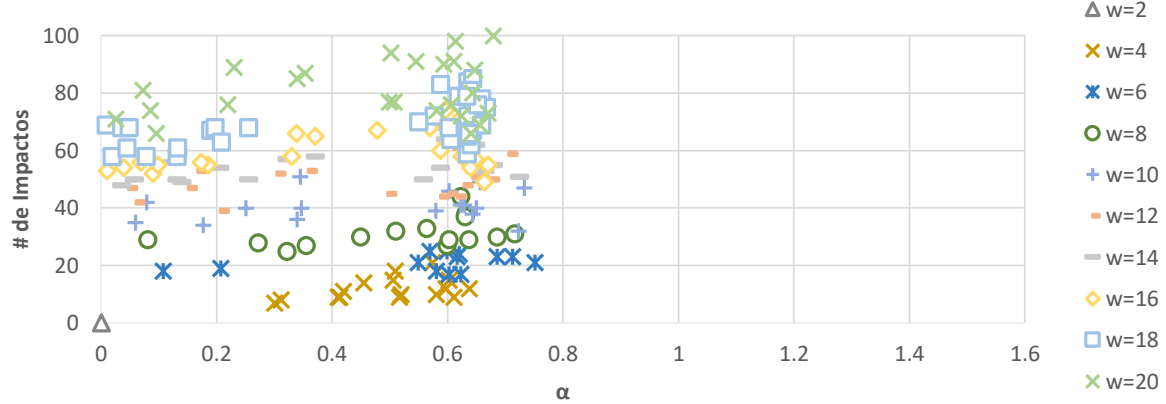
Equi-Desplazamiento=0.95 m (MSAV)
 E_T



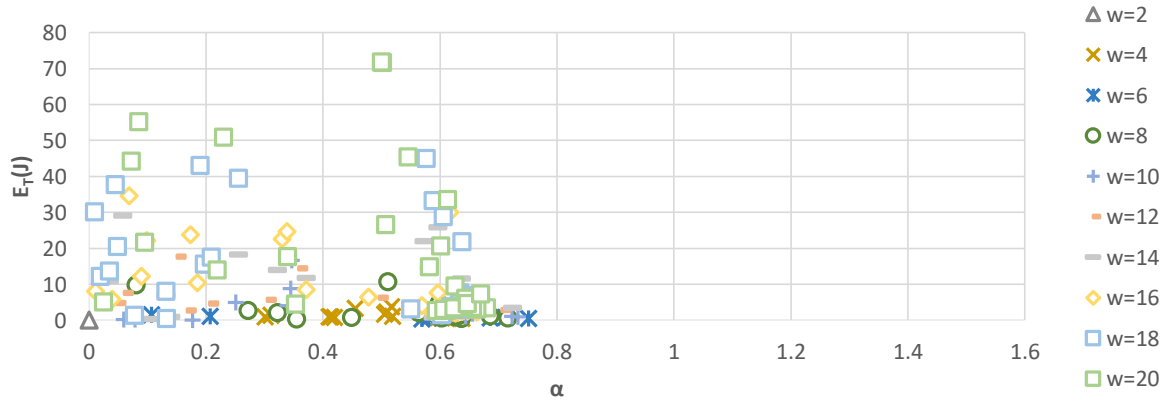
Equi-Desplazamiento=1m (MSAV)



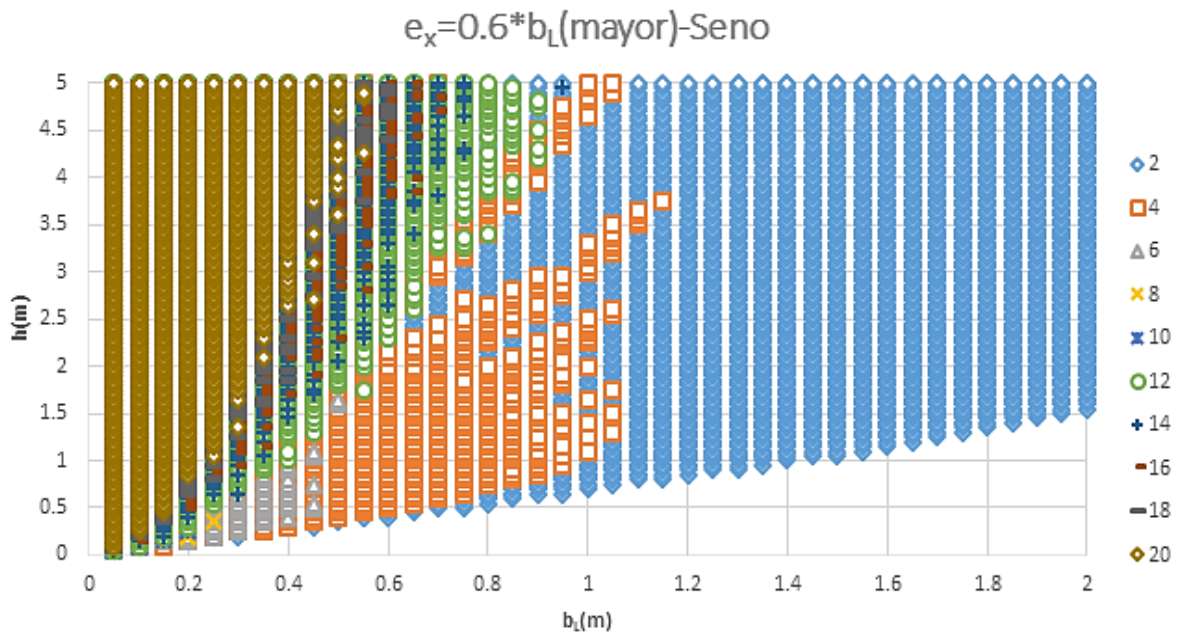
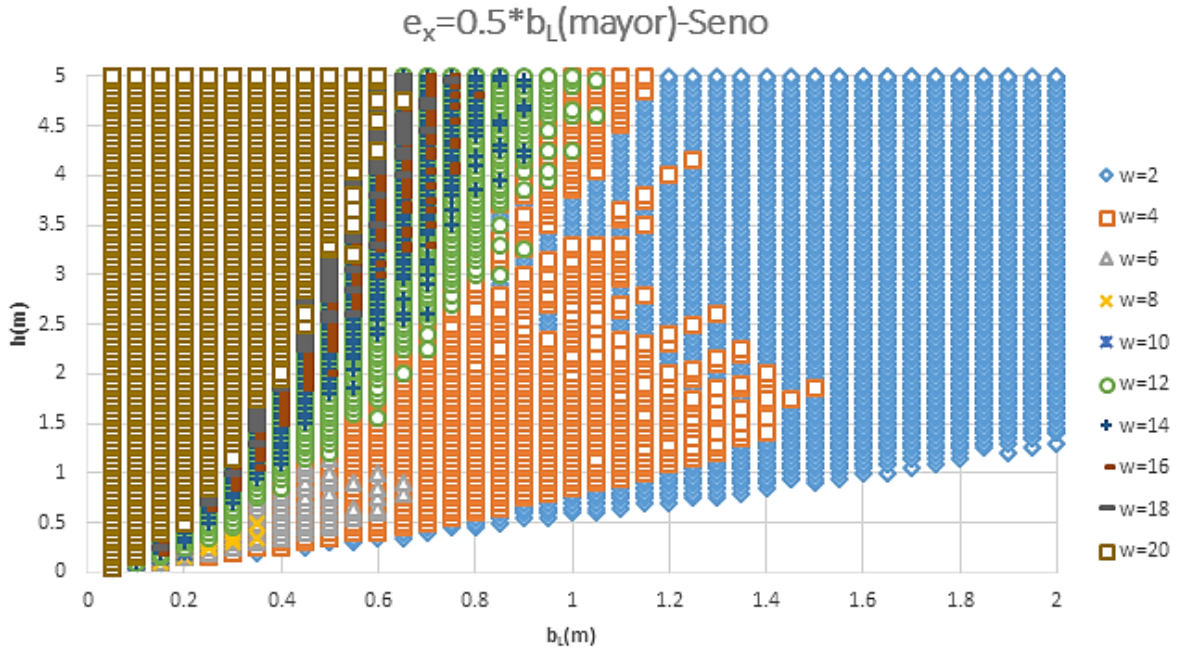
Equi-Desplazamiento=1m (MSAV)
de Impactos



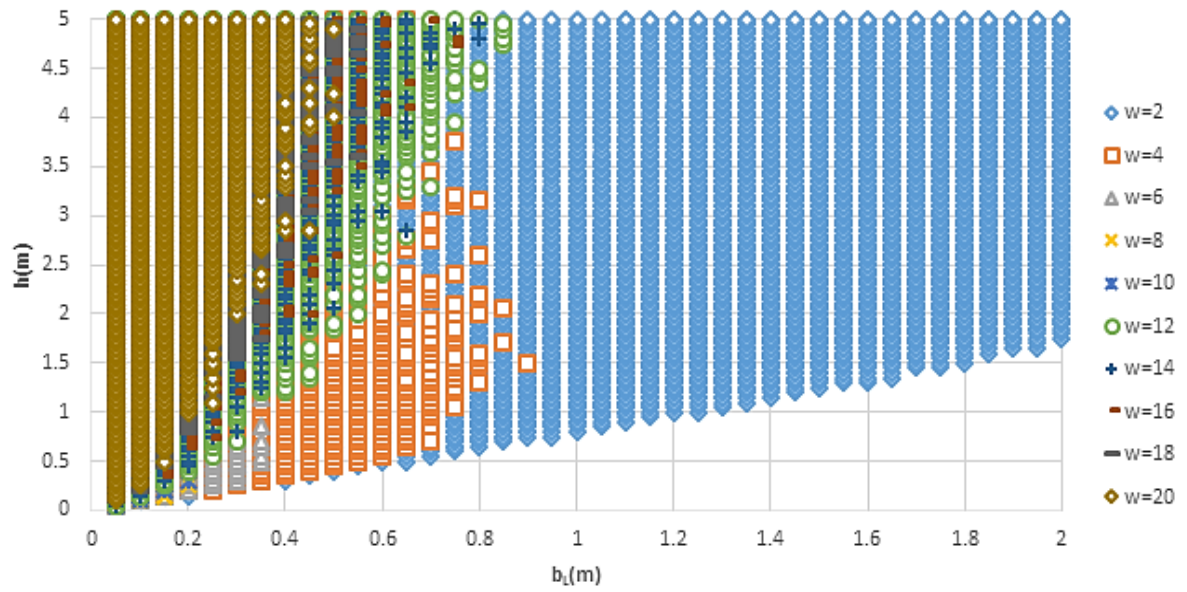
Equi-Desplazamiento=1m (MSAV)
 E_T



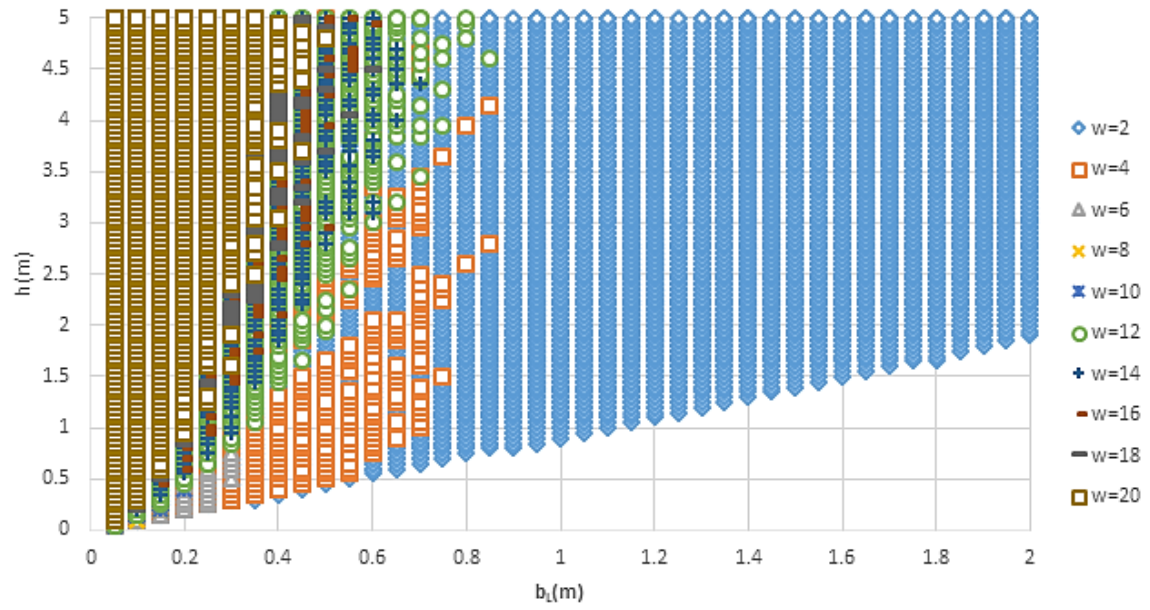
ANEXO 10



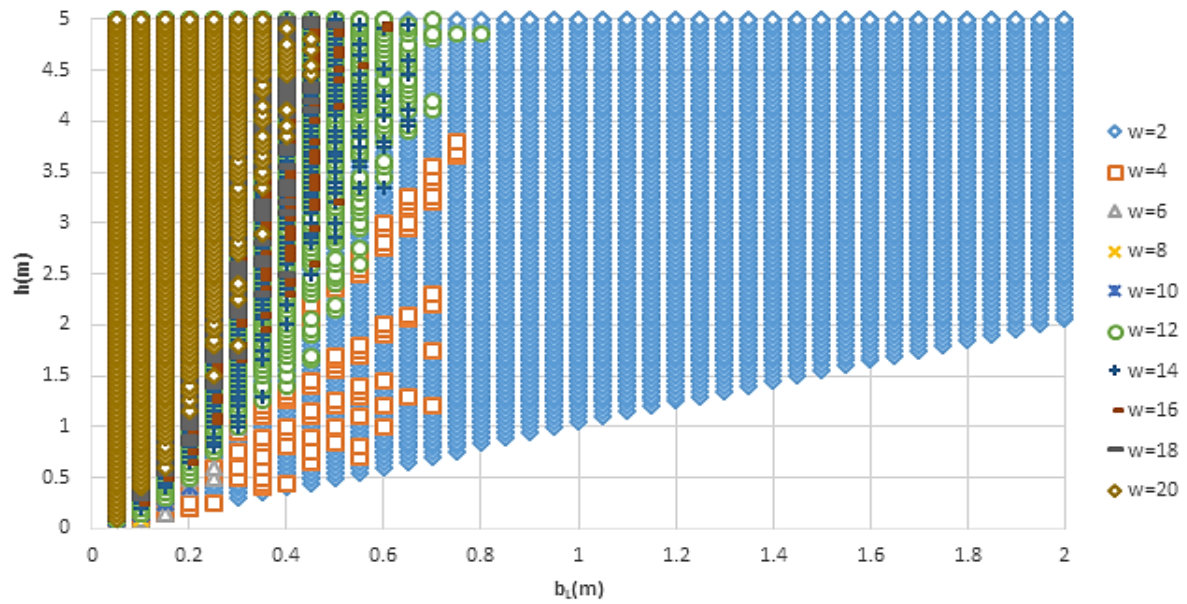
$$e_x = 0.7 * b_L(\text{mayor}) - \text{Seno}$$



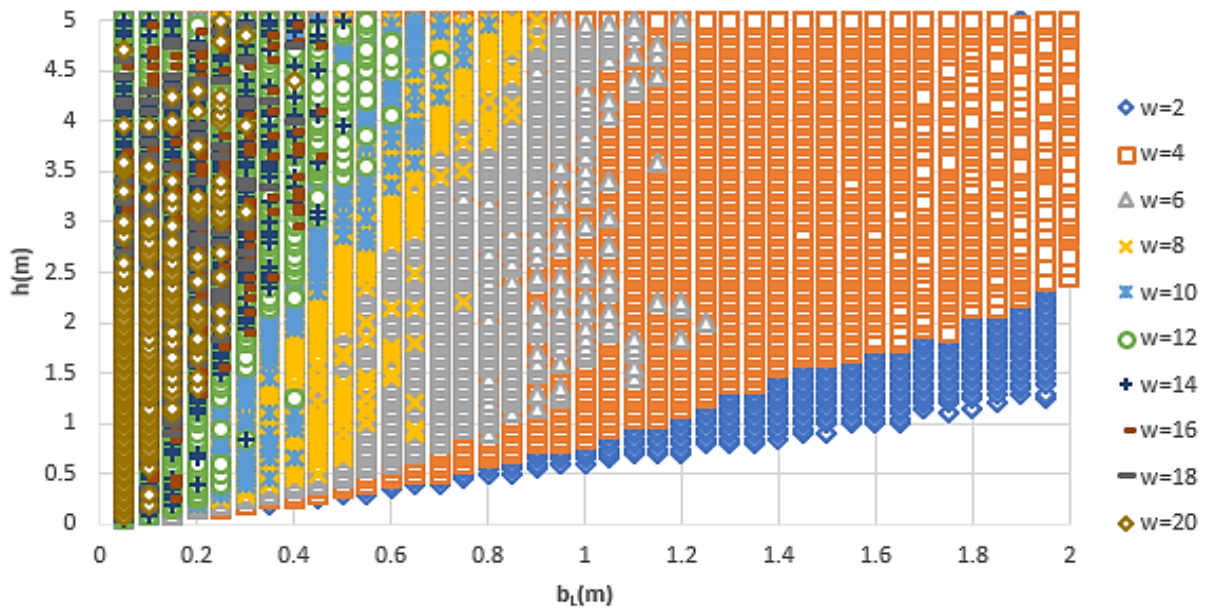
$$e_x = 0.8 * b_L(\text{mayor}) - \text{Seno}$$



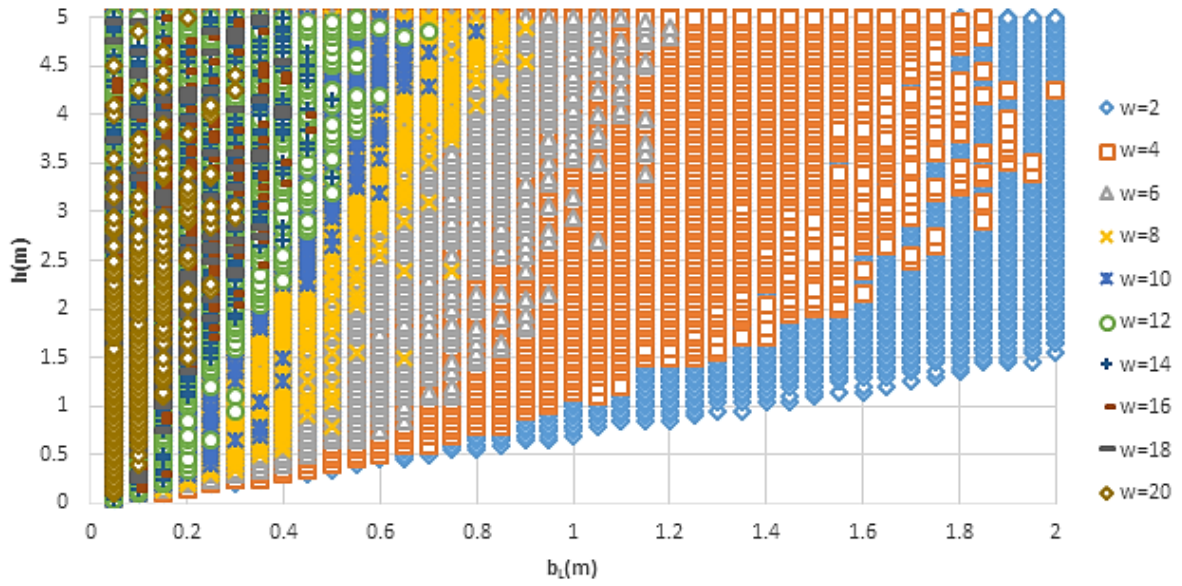
$e_x=0.9*b_L(\text{mayor})\text{-Seno}$



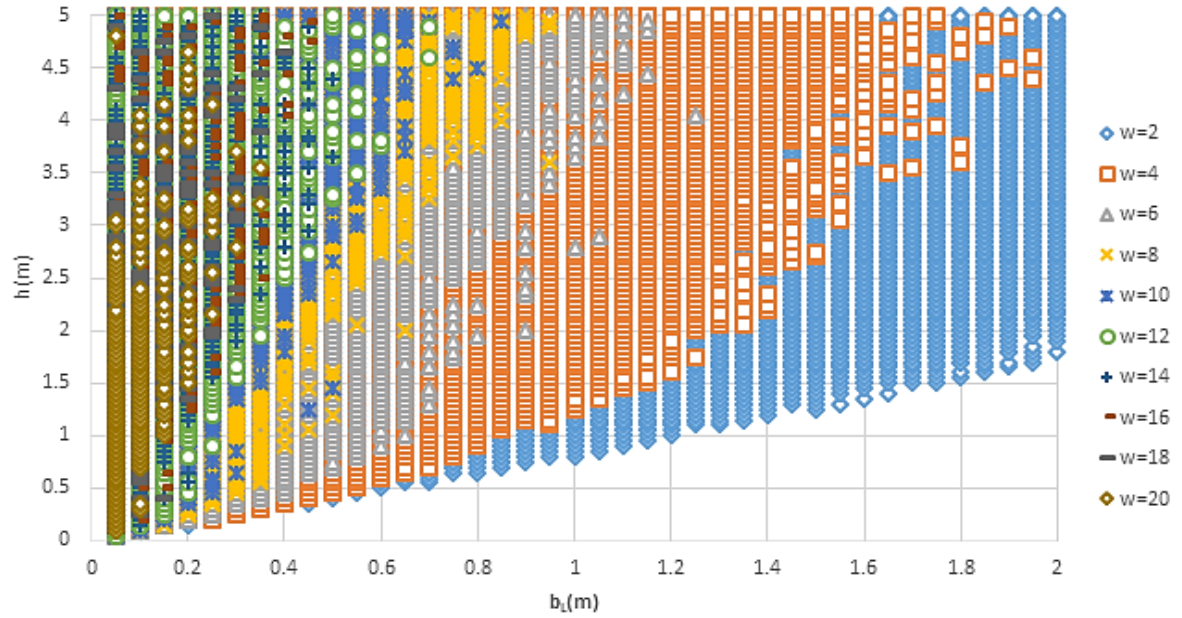
$e_x=0.5*b_L(\text{mayor})\text{-MSAV}$



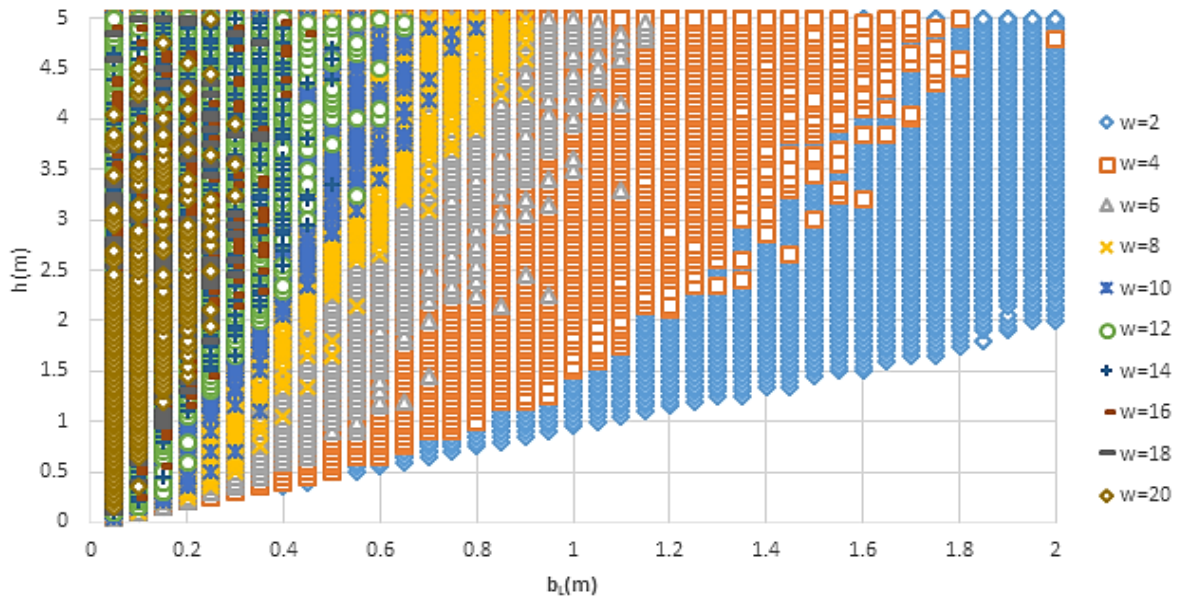
$e_x=0.6*b_L(\text{mayor})\text{-MSAV}$



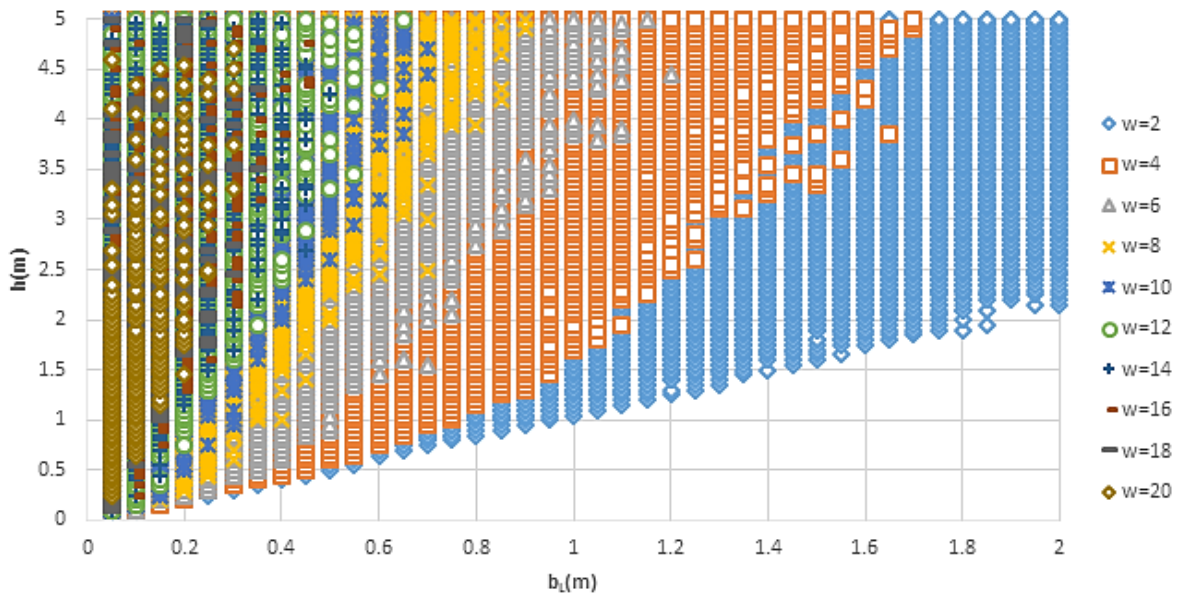
$e_x=0.7*b_L(\text{mayor})\text{-MSAV}$



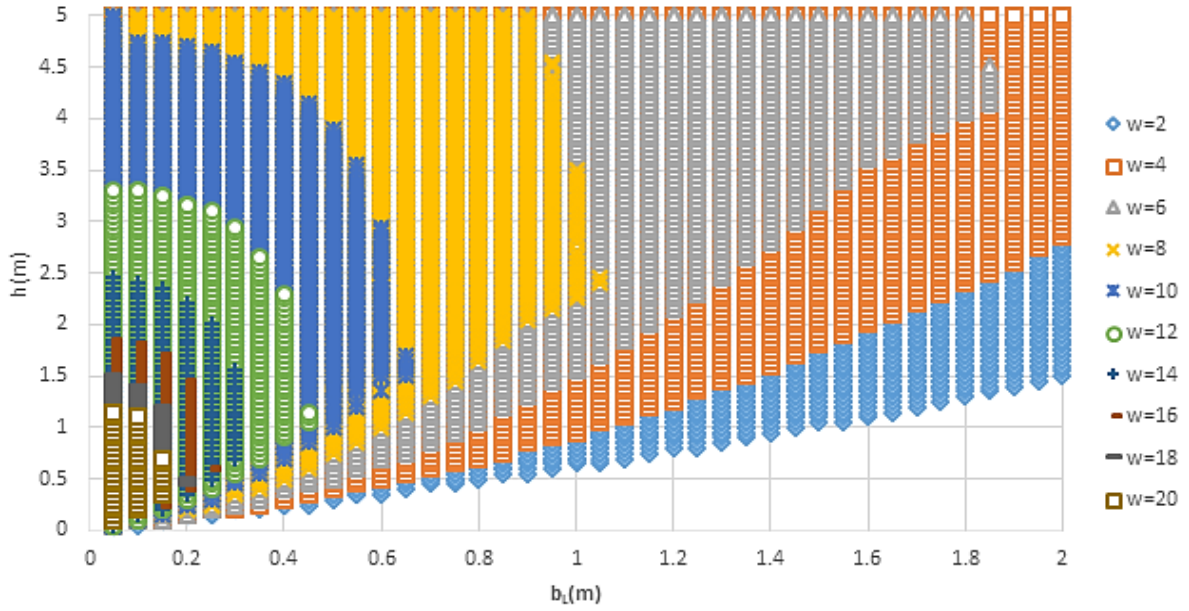
$$e_x = 0.8 * b_L(\text{mayor}) - \text{MSAV}$$



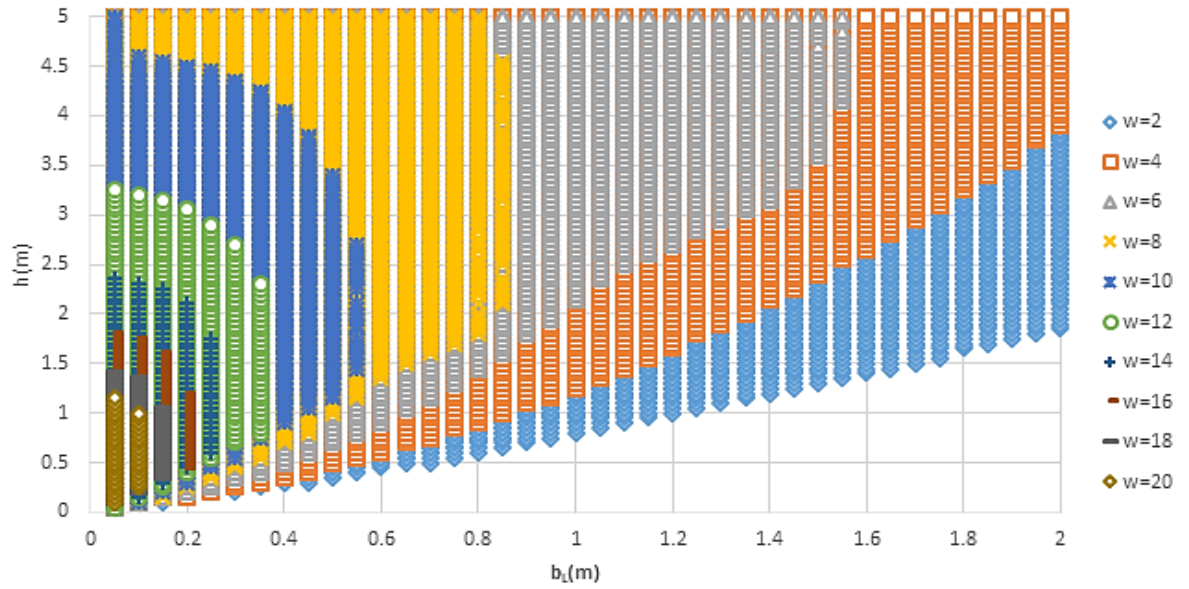
$$e_x = 0.9 * b_L(\text{mayor}) - \text{MSAV}$$



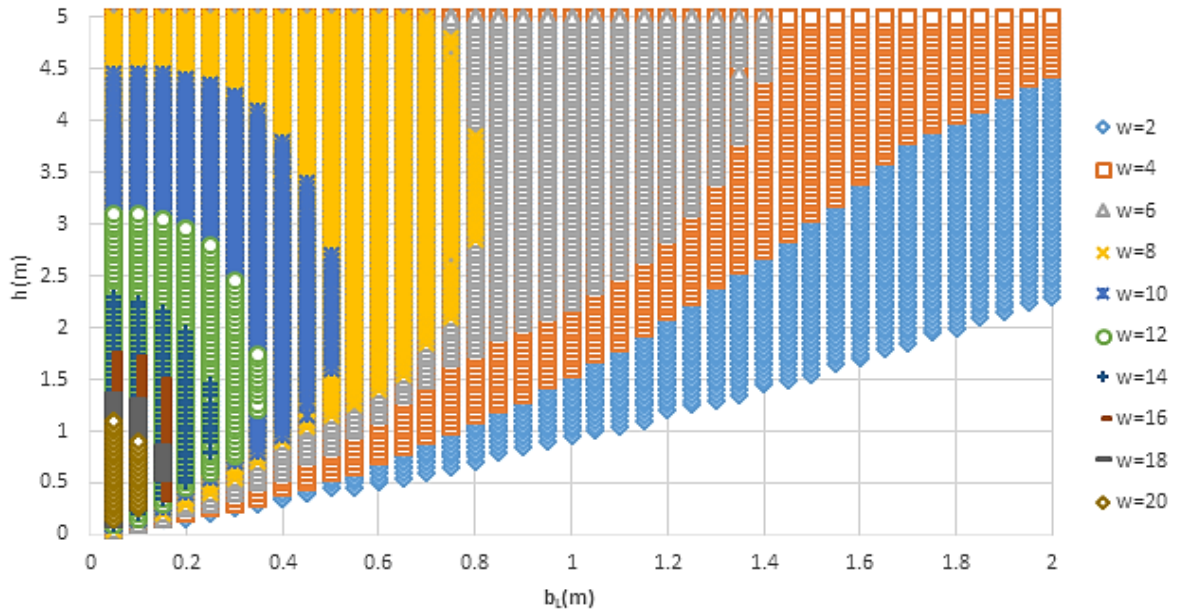
$e_x=0.5*b_L(\text{mayor})$ -Pulso de Ricker



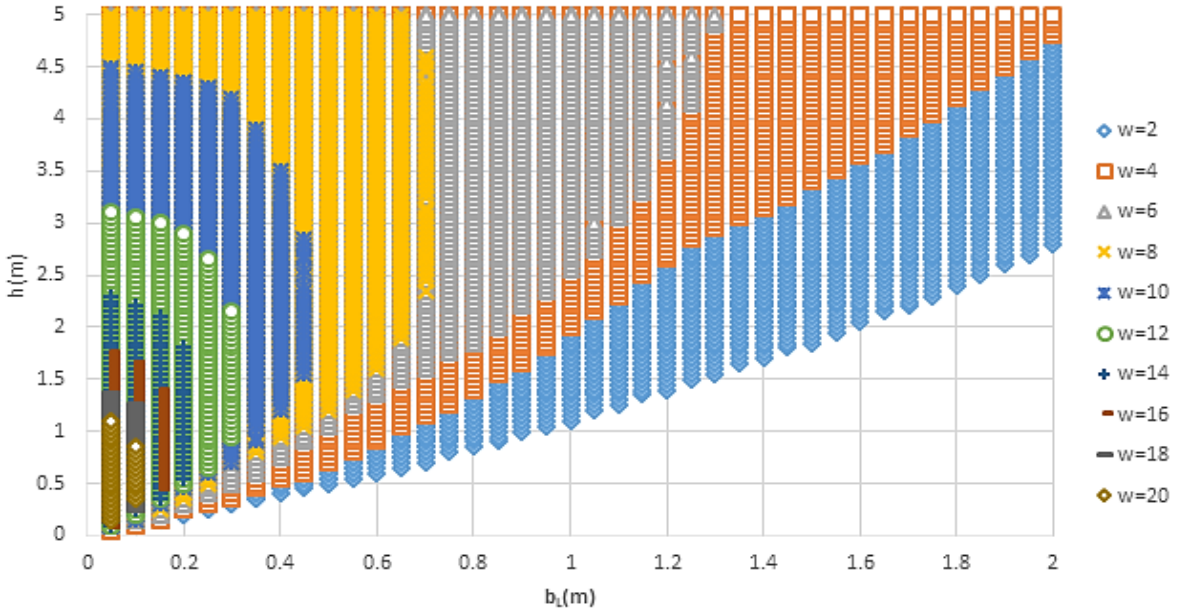
$e_x=0.6*b_L(\text{mayor})$ -Pulso de Ricker



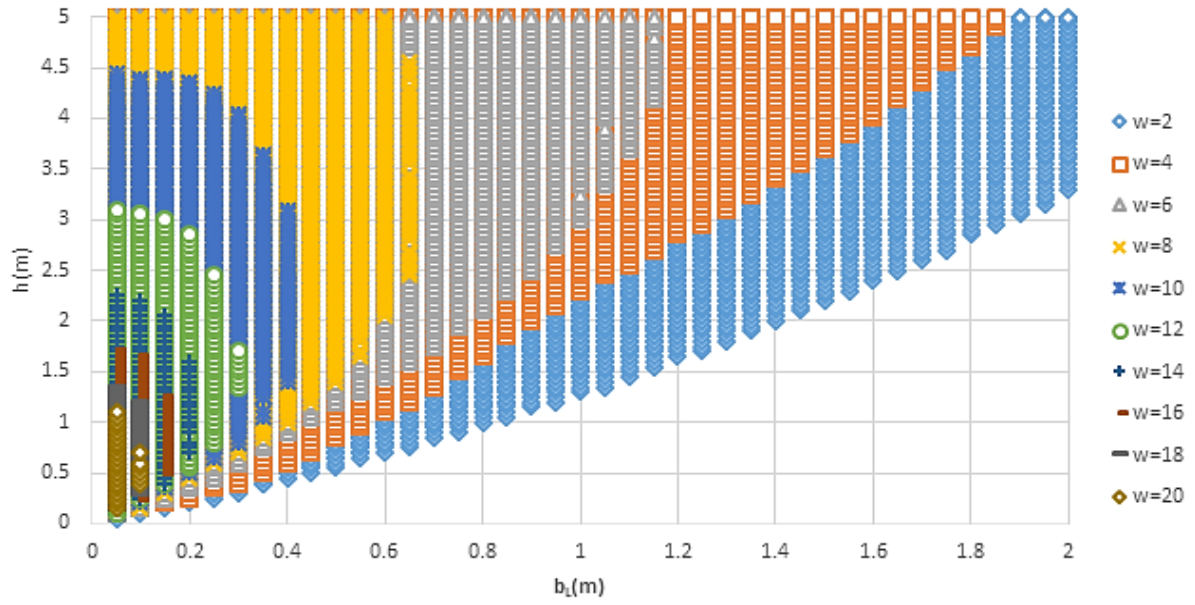
$e_x=0.7*b_L(\text{mayor})$ -Pulso de Ricker



$e_x=0.8*b_L(\text{mayor})$ -Pulso de Ricker

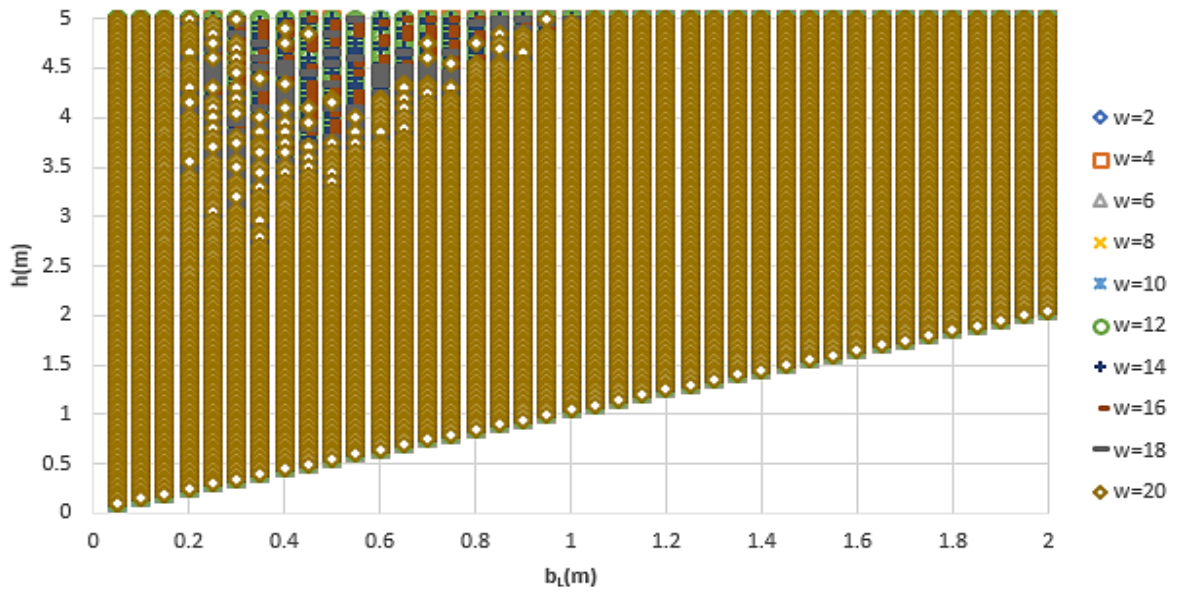


$e_x=0.9*b_L$ (mayor)-Pulso de Ricker

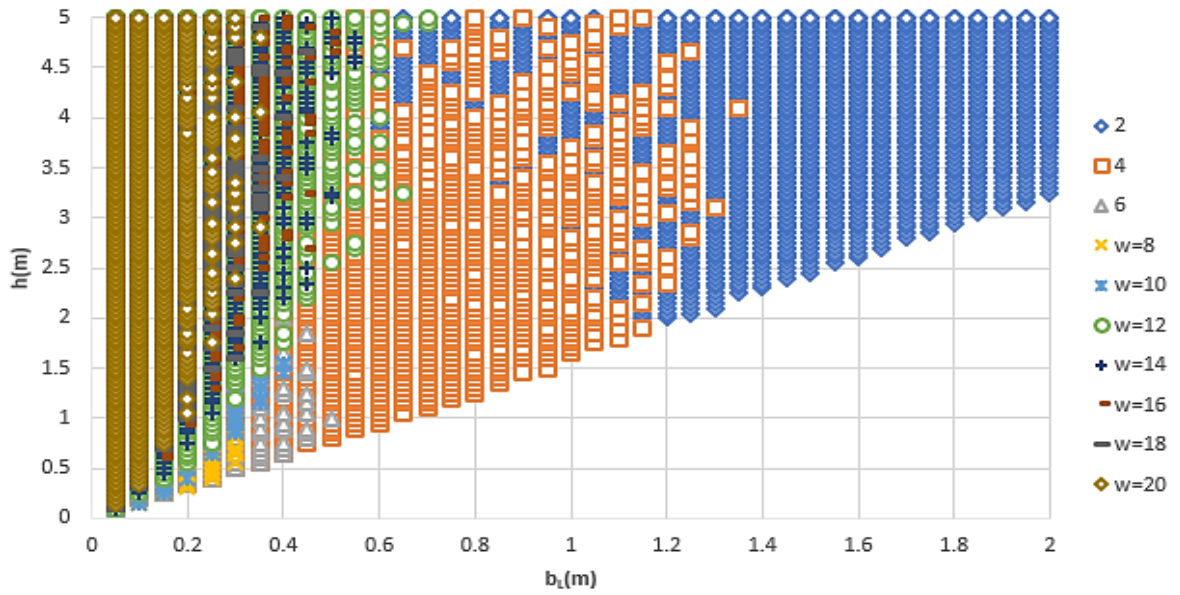


ANEXO 11

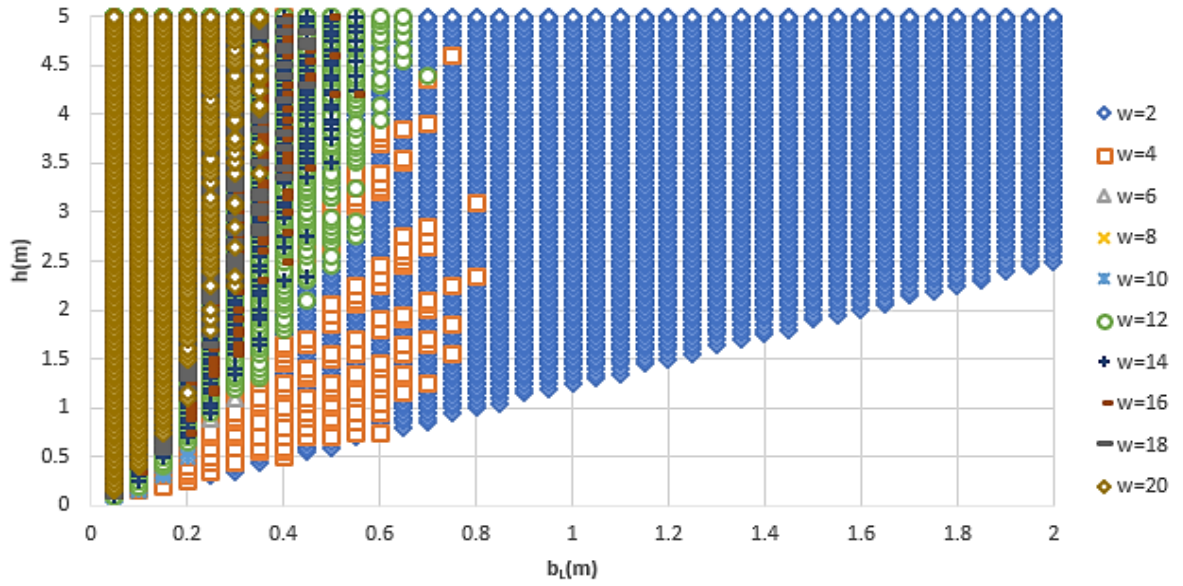
$$e_x = 0.5 * b_L(\text{menor}) - \text{Seno}$$



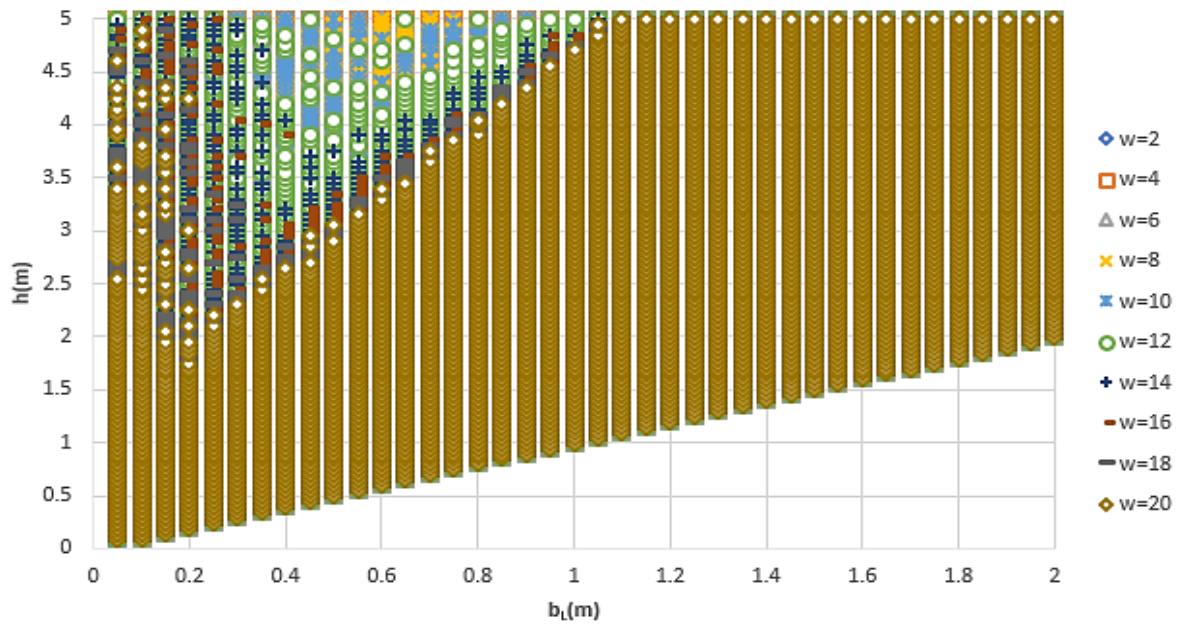
$$e_x = 0.6 * b_L(\text{menor}) - \text{Seno}$$



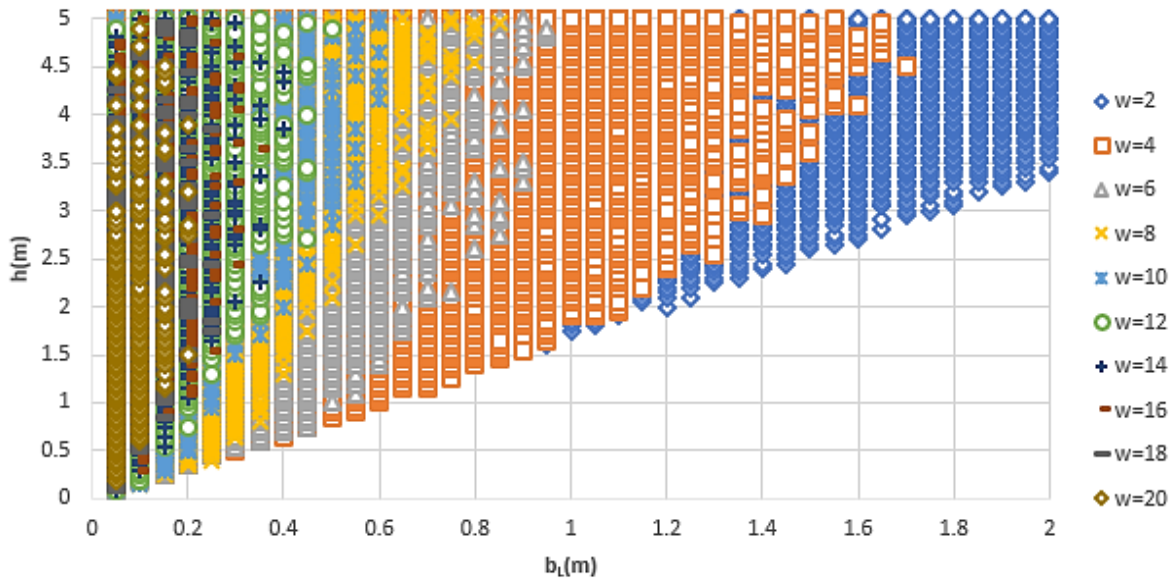
$e_x=0.9*b_l(\text{menor})\text{-Seno}$



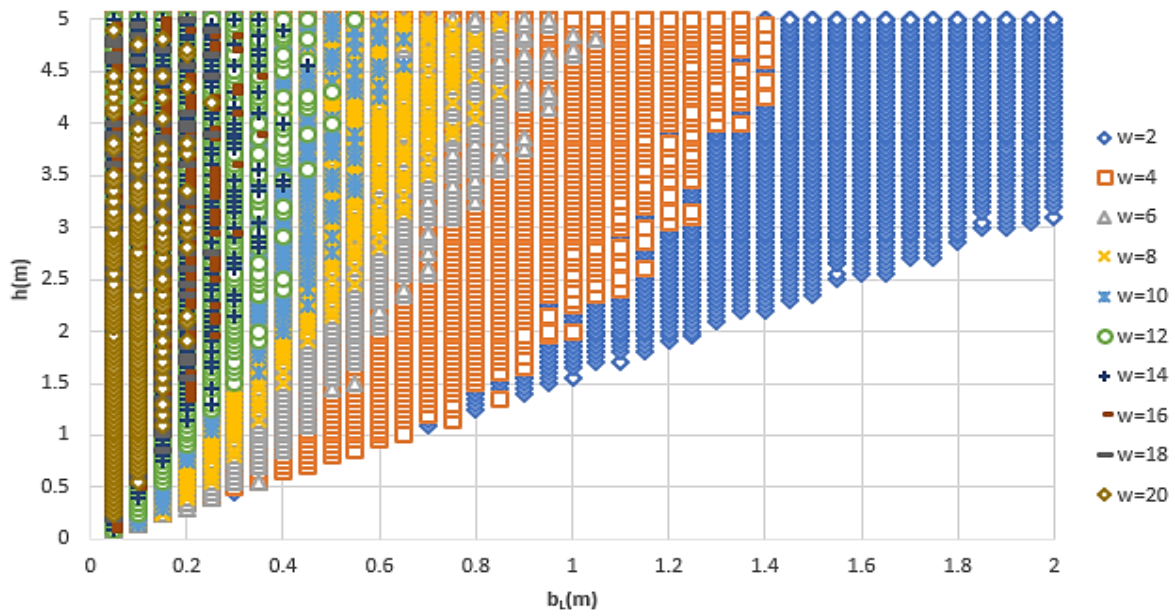
$e_x=0.5*b_l(\text{menor})\text{-MSAV}$



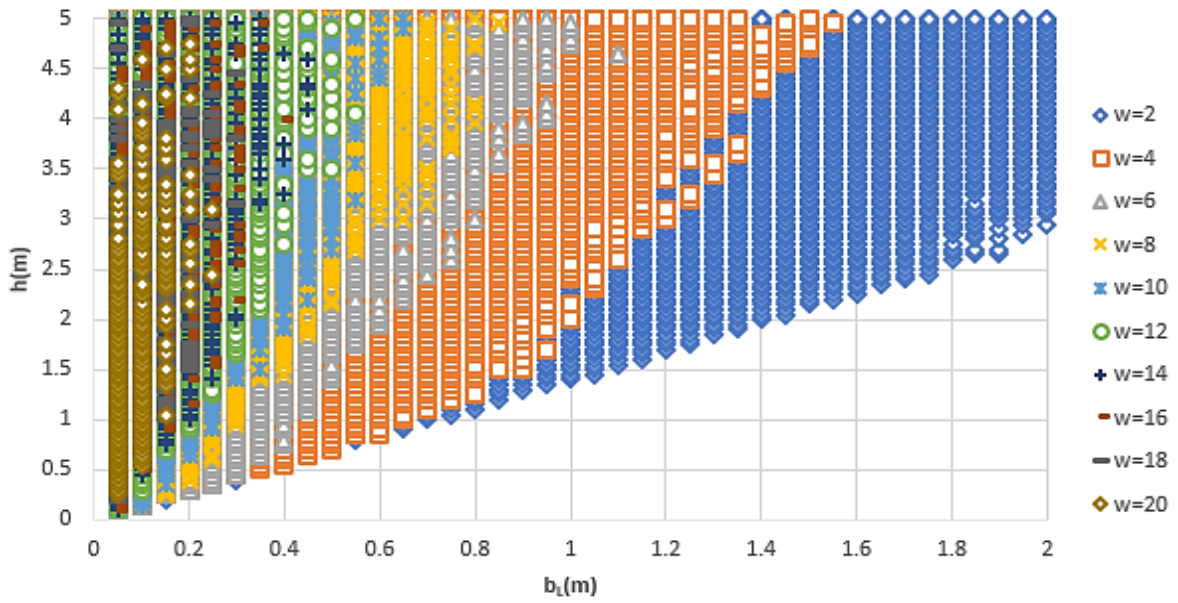
$$e_x = 0.6 * b_L(\text{menor}) - \text{MSAV}$$



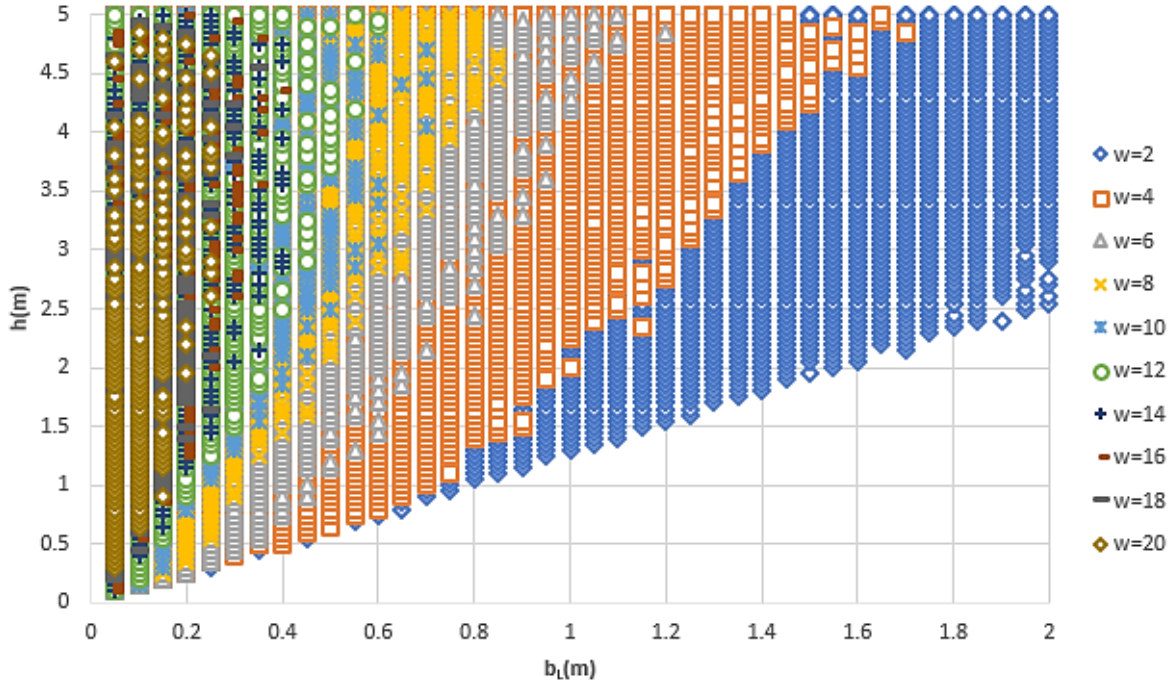
$$e_x = 0.7 * b_L(\text{menor}) - \text{MSAV}$$



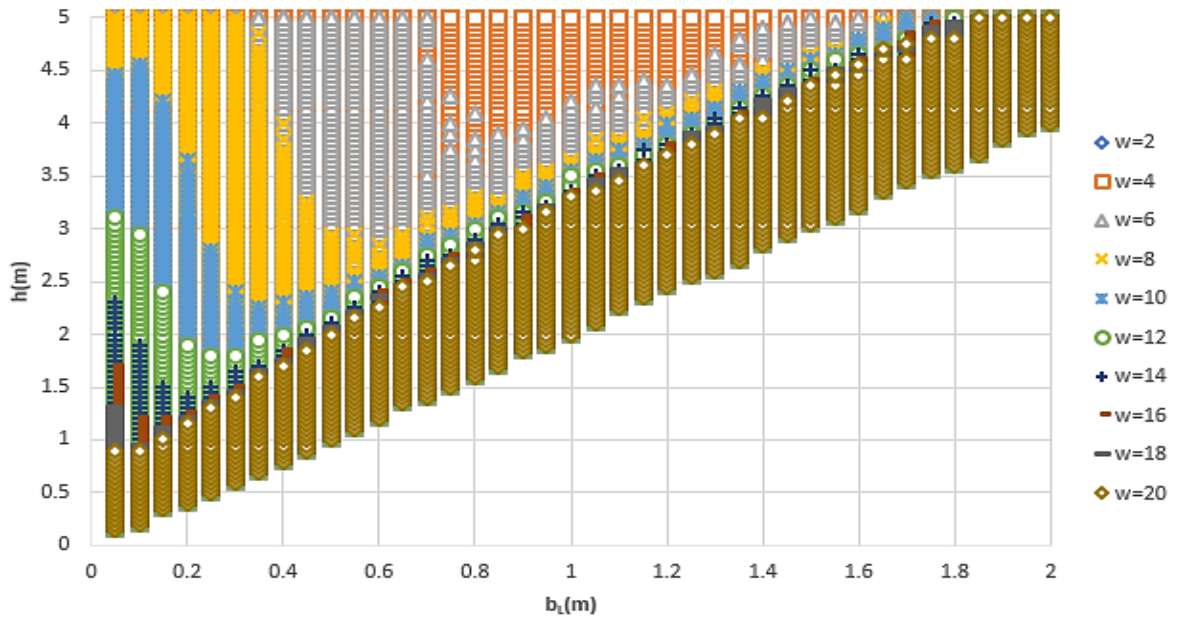
$e_x=0.8*b_L(\text{menor})\text{-MSAV}$



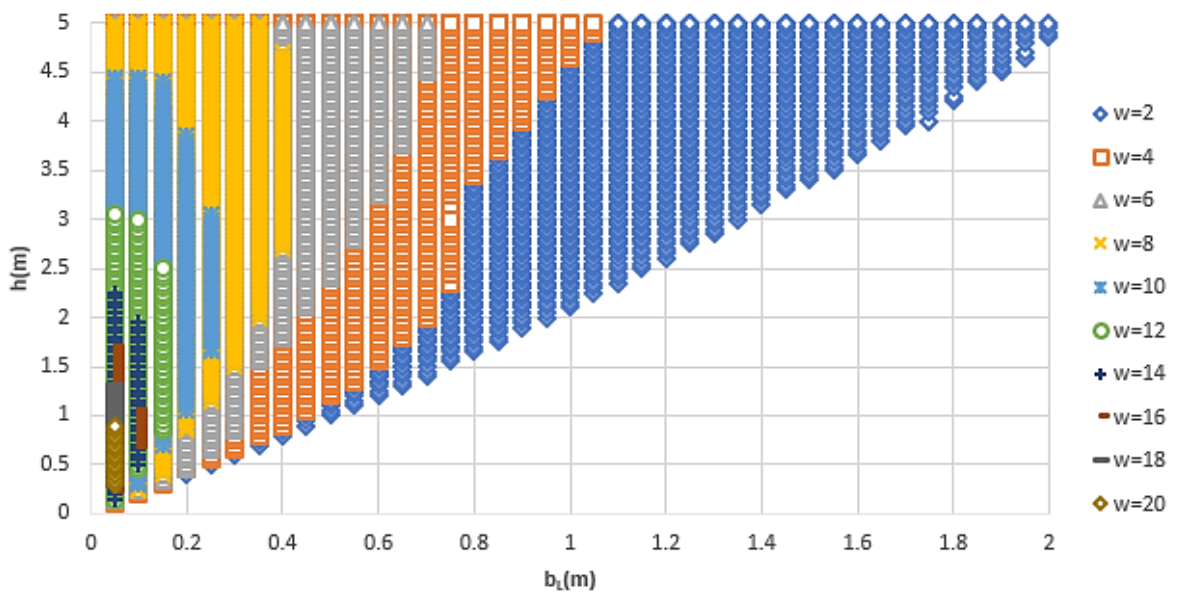
$e_x=0.9*b_L(\text{menor})\text{-MSAV}$



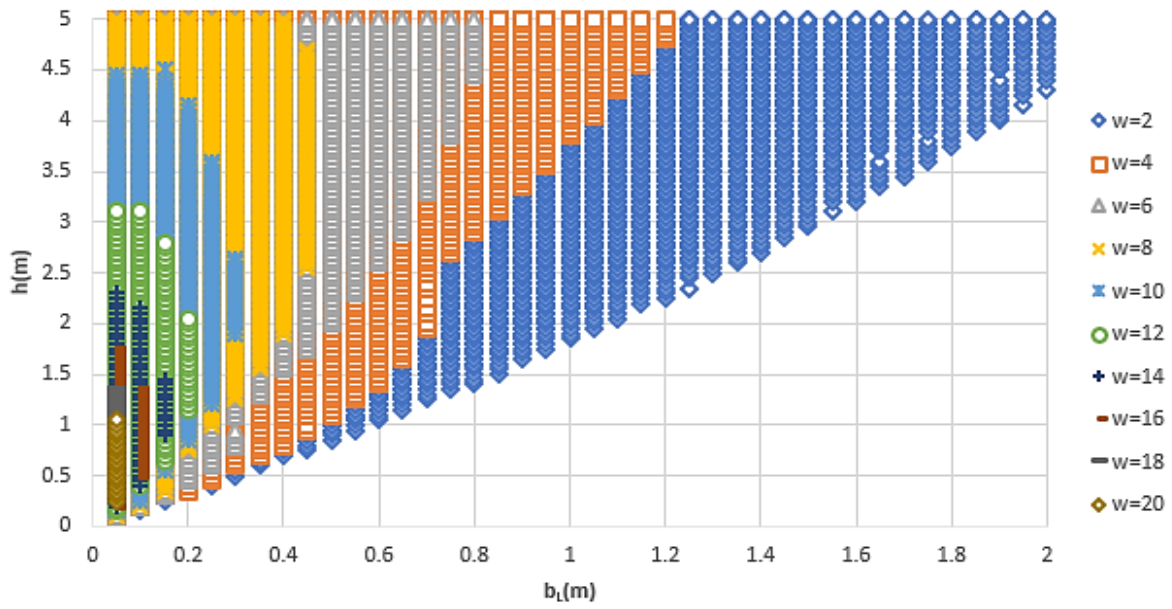
$e_x=0.5*b_L(\text{menor})$ -Pulso de Ricker



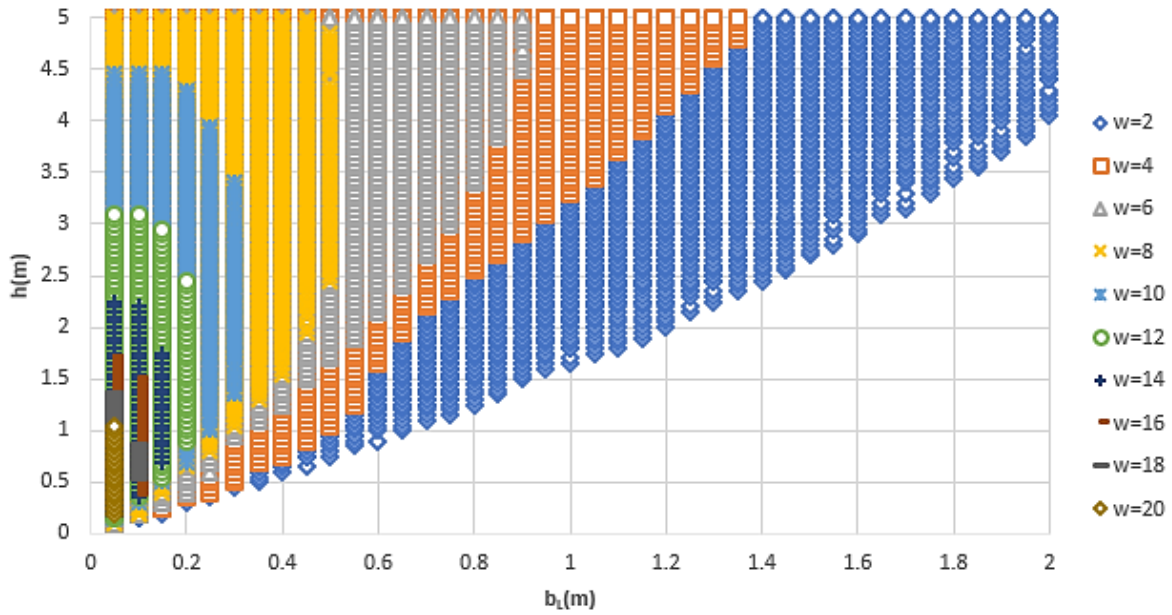
$e_x=0.6*b_L(\text{menor})$ -Pulso de Ricker



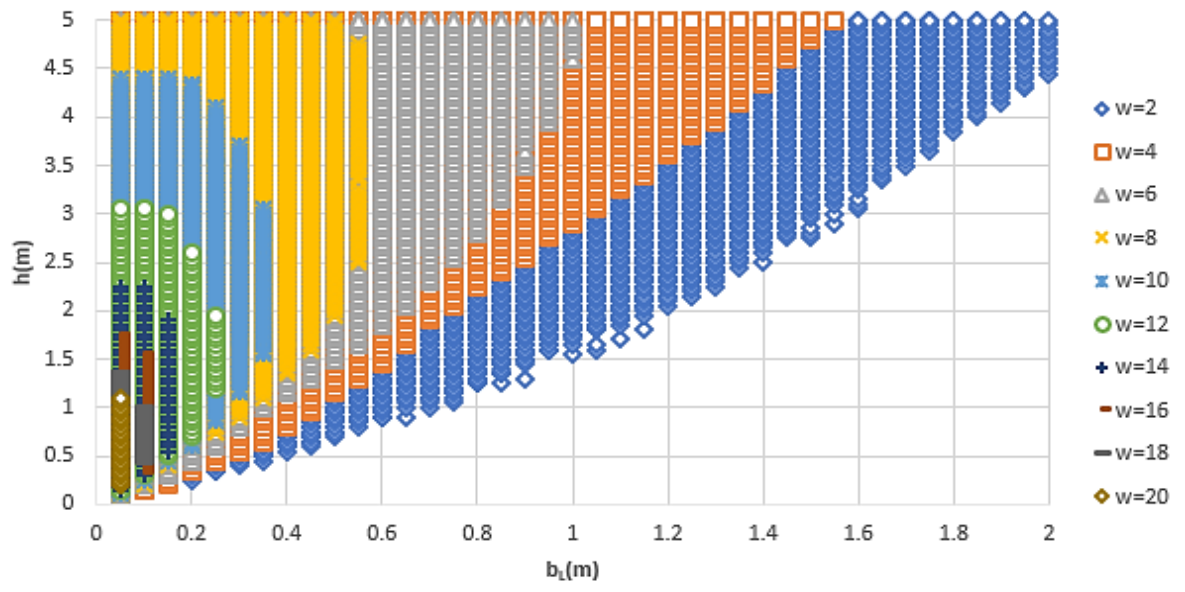
$e_x=0.7*b_L(\text{menor})$ -Pulso de Ricker



$e_x=0.8*b_L(\text{menor})$ -Pulso de Ricker

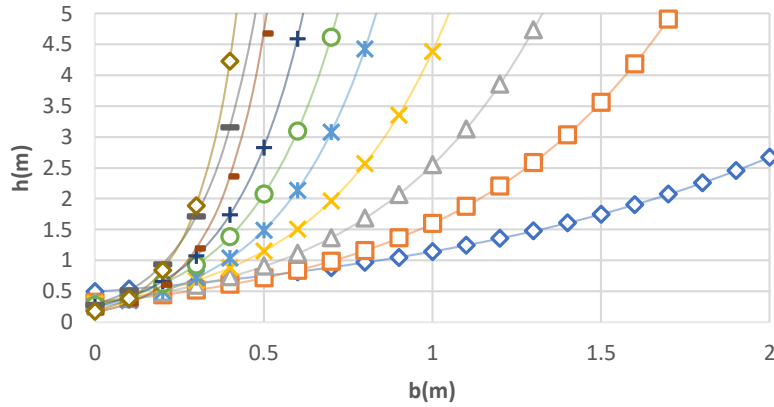


$e_x=0.9*b_L$ (menor)-Pulso de Ricker



ANEXO 12

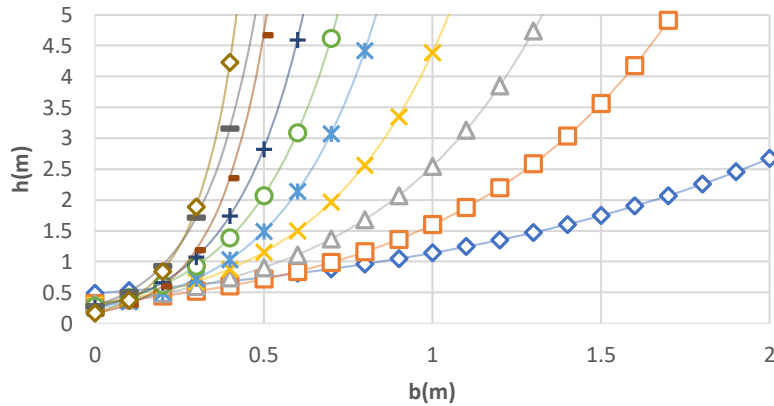
Equi-Aceleración=0.05g (Seno)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

w	a _w	b _w
2	0.7439	2.2106
4	0.6148	4.3026
6	0.7475	4.6825
8	0.8384	4.6093
10	0.7049	8.0186
12	0.8459	7.824
14	0.6552	8.5099
16	0.6314	9.0353
18	0.8508	7.7232
20	0.709	8.7448

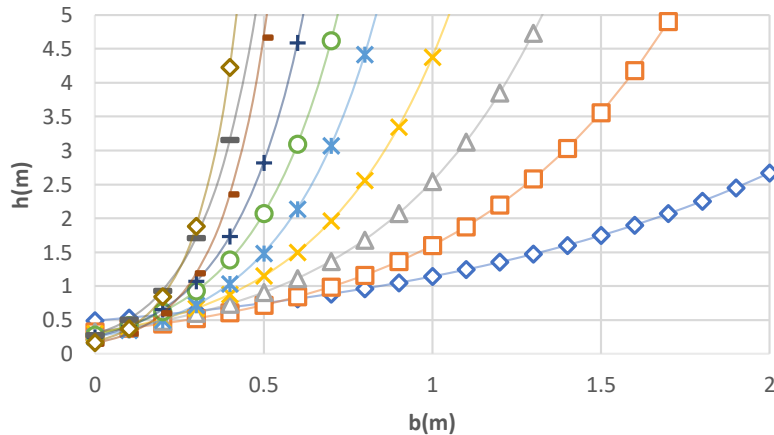
Equi-Aceleración=0.1g (Seno)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

w	a _w	b _w
2	0.772	1.3077
4	0.6636	2.7807
6	0.4677	4.4682
8	0.6473	4.0464
10	0.5416	4.8384
12	0.4471	5.5806
14	0.6015	5.1325
16	0.4796	6.4323
18	0.4154	7.6954
20	0.4053	8.53

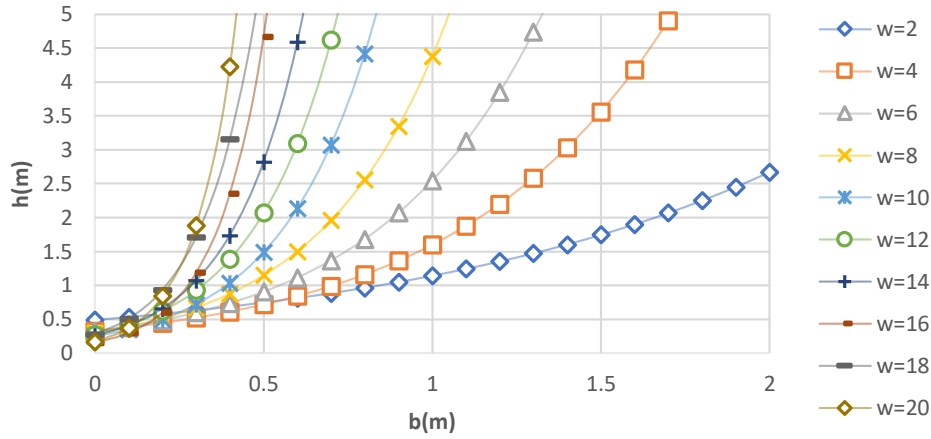
Equi-Aceleración=0.15g (Seno)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

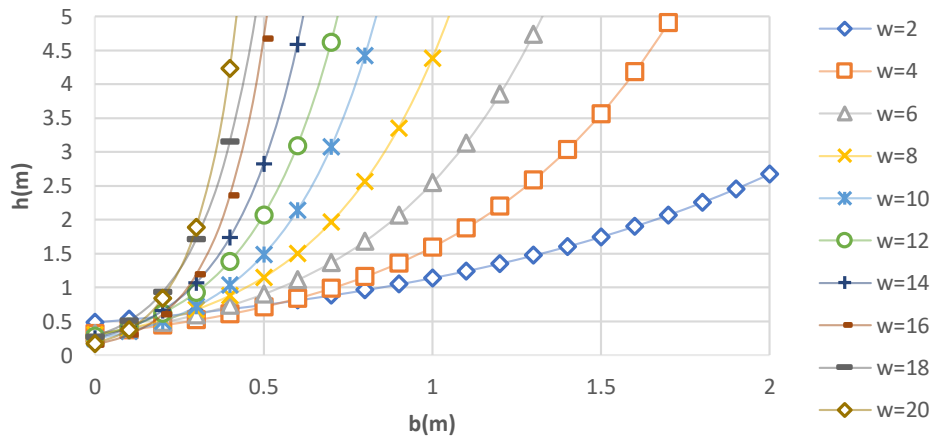
w	a _w	b _w
2	0.538	1.5413
4	0.4702	2.6449
6	0.4562	3.3125
8	0.4156	3.7648
10	0.3763	4.5373
12	0.3799	5.3593
14	0.2258	7.8442
16	0.2541	8.8995
18	0.1698	13.174
20	0.1195	18.288

Equi-Aceleración=0.2g (Seno)



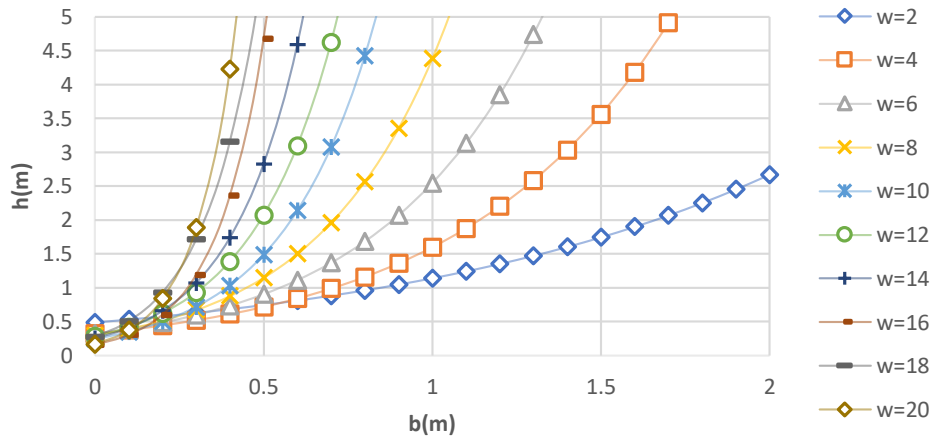
w	a _w	b _w
2	0.5369	1.2999
4	0.5122	1.8823
6	0.4893	2.494
8	0.5449	2.8003
10	0.3498	4.2608
12	0.2518	6.9296
14	0.1634	9.8456
16	0.2115	9.2647
18	0.2035	13.175
20	0.1141	14.457

Equi-Aceleración=0.25g (Seno)



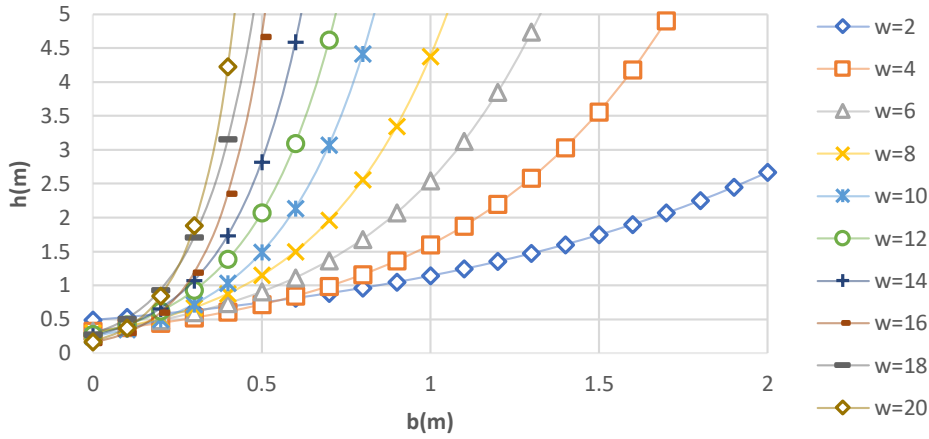
w	a _w	b _w
2	0.5268	1.1807
4	0.4365	1.9105
6	0.3591	2.9241
8	0.3462	3.5854
10	0.2787	5.192
12	0.2481	6.4918
14	0.2648	7.1771
16	0.2378	8.8999
18	0.1622	12.353
20	0.1875	16.679

Equi-Aceleración=0.3g (Seno)



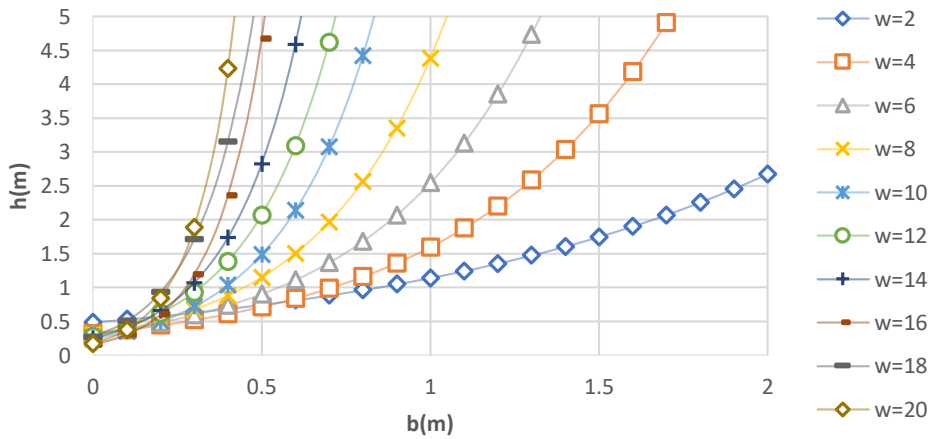
w	a _w	b _w
2	0.4294	1.214
4	0.3611	1.956
6	0.2641	3.326
8	0.2723	4.026
10	0.2565	4.9898
12	0.222	6.8421
14	0.3409	5.9142
16	0.2274	8.8442
18	0.0992	14.373
20	0.2107	10.907

Equi-Aceleración=0.35g (Seno)



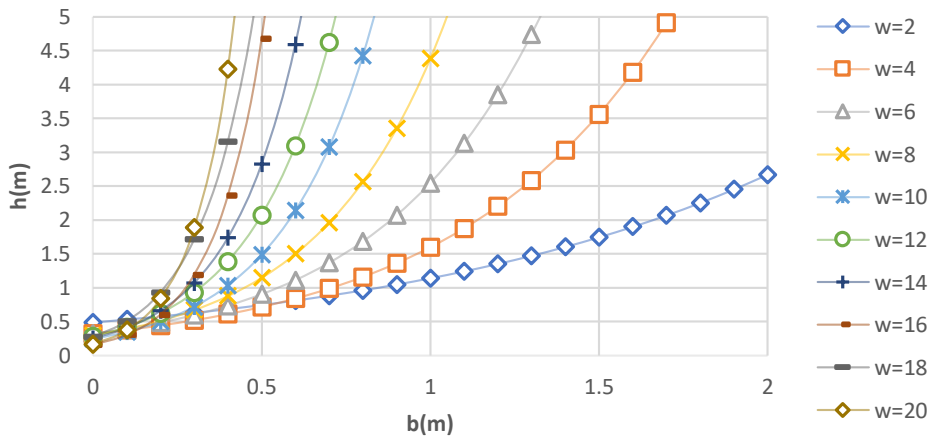
w	a _w	b _w
2	0.4634	1.1282
4	0.3268	1.9673
6	0.2756	3.0065
8	0.2539	4.1183
10	0.1593	6.1847
12	0.1582	7.0995
14	0.2593	6.4918
16	0.3229	6.877
18	0.2755	8.1399
20	0.1799	11.674

Equi-Aceleración=0.4g (Seno)



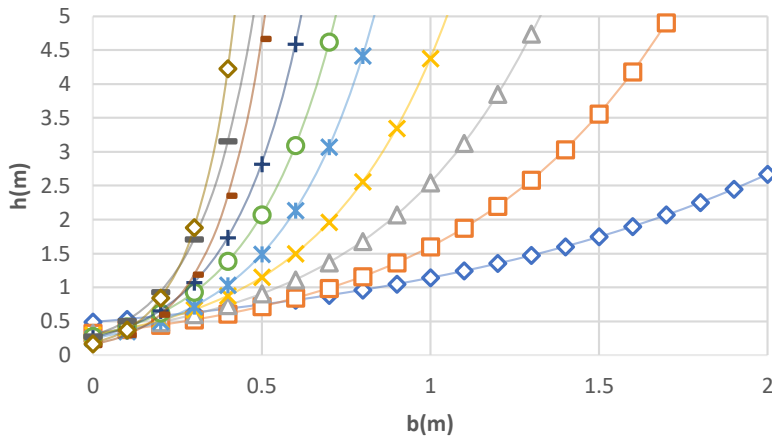
w	a _w	b _w
2	0.4756	1.0816
4	0.3322	1.9017
6	0.2691	2.9924
8	0.2353	4.4364
10	0.21	5.4662
12	0.2763	5.1628
14	0.2147	7.425
16	0.2071	7.9398
18	0.2299	9.0679
20	0.3996	7.4275

Equi-Aceleración=0.45g (Seno)



w	a _w	b _w
2	0.492	1.0419
4	0.3873	1.7696
6	0.2715	2.9733
8	0.2404	3.8789
10	0.3611	3.9112
12	0.4254	4.0014
14	0.2257	6.5148
16	0.3147	6.558
18	0.1693	10.595
20	0.147	11.696

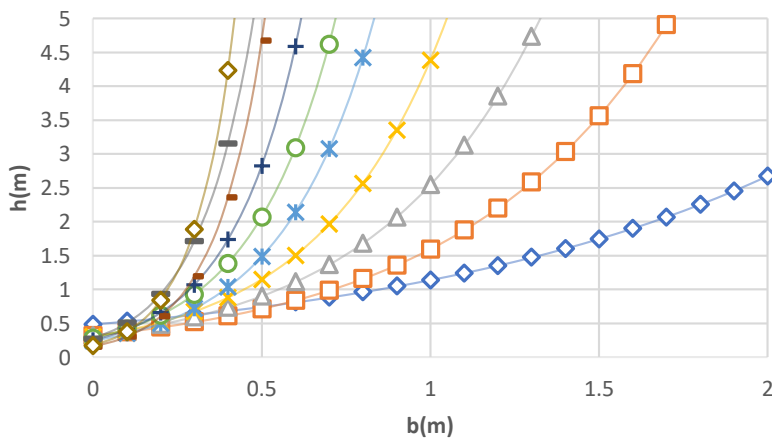
Equi-Aceleración=0.5g (Seno)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

w	a _w	b _w
2	0.6487	0.796
4	0.4028	1.6503
6	0.3469	2.5838
8	0.2946	3.6446
10	0.2406	4.523
12	0.2955	4.6356
14	0.2179	6.5653
16	0.1924	8.0463
18	0.2093	8.6895
20	0.1715	10.269

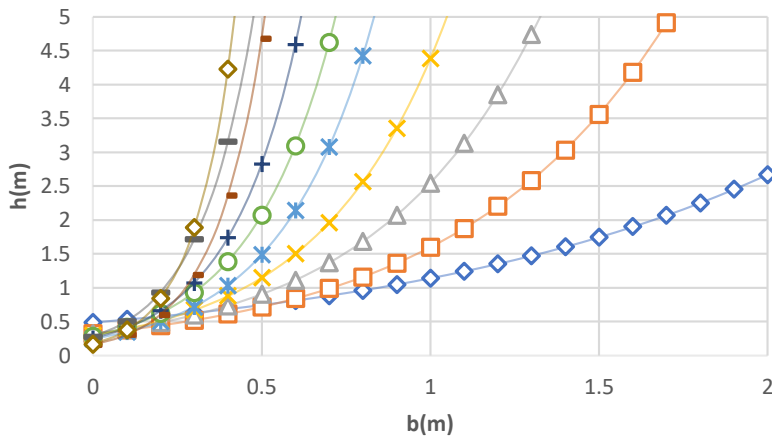
Equi-Aceleración=0.55g (Seno)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

w	a _w	b _w
2	0.3779	1.1793
4	0.2783	1.9409
6	0.2477	2.805
8	0.2502	3.717
10	0.2601	4.2411
12	0.2786	4.4765
14	0.1856	6.8203
16	0.2427	6.8285
18	0.4063	6.9885
20	0.2614	9.892

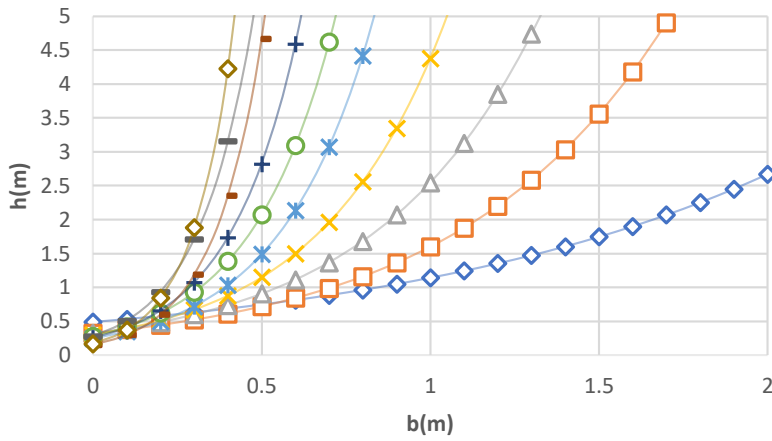
Equi-Aceleración=0.6g (Seno)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

w	a _w	b _w
2	0.5143	0.923
4	0.3548	1.6926
6	0.2675	2.5507
8	0.3061	3.1928
10	0.3227	3.749
12	0.2243	5.3581
14	0.1918	6.4609
16	0.2388	6.4832
18	0.2224	7.7632
20	0.2724	8.1958

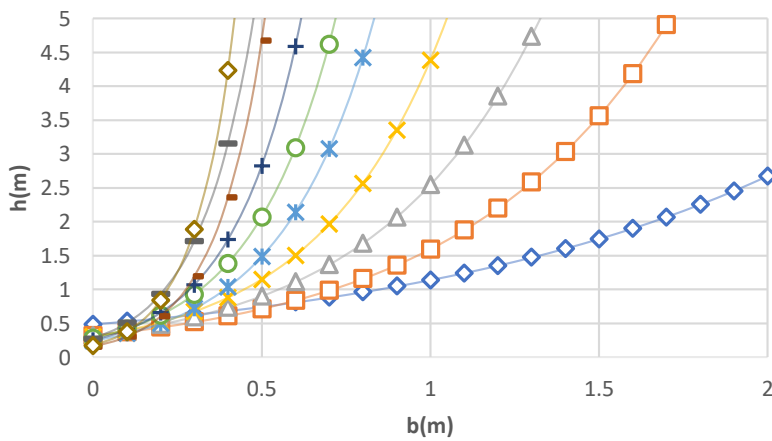
Equi-Aceleración=0.65g (Seno)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

w	a _w	b _w
2	0.4318	1.0213
4	0.2814	1.8983
6	0.3247	2.3291
8	0.3673	2.8801
10	0.3095	3.7595
12	0.3373	4.1814
14	0.2643	5.873
16	0.374	5.2436
18	0.3867	6.352
20	0.165	9.9431

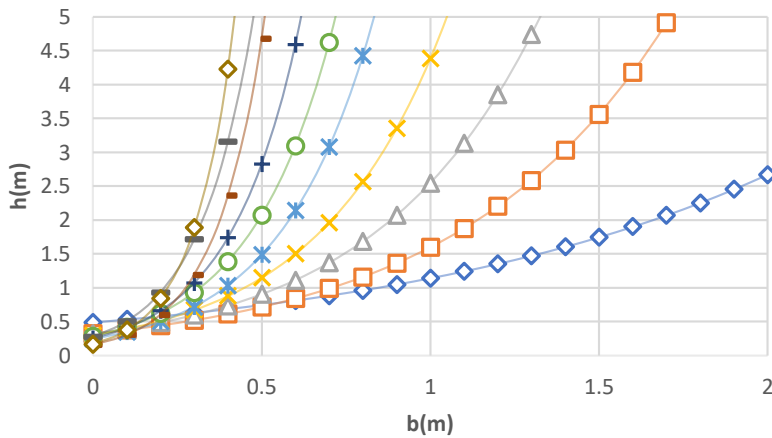
Equi-Aceleración=0.7g (Seno)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

w	a _w	b _w
2	0.3823	1.0981
4	0.2903	1.8121
6	0.2966	2.3861
8	0.2742	3.0328
10	0.1877	4.6347
12	0.1738	5.5417
14	0.1773	6.6128
16	0.2086	6.6426
18	0.1439	9.149
20	0.1706	9.5779

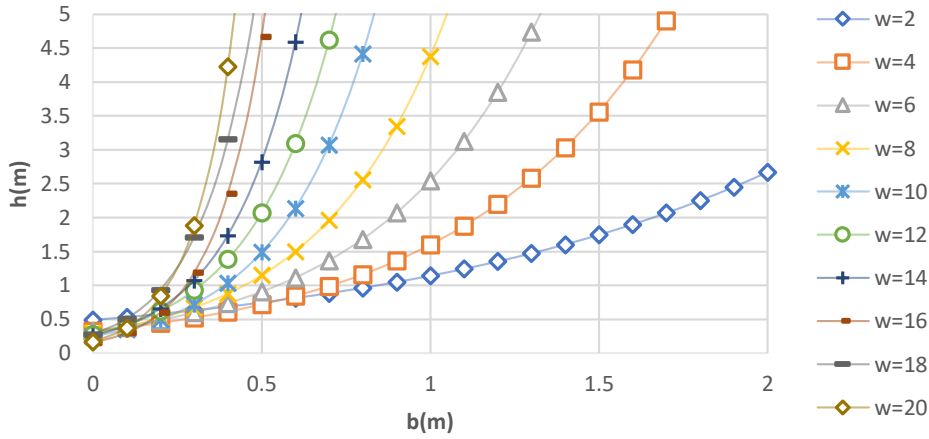
Equi-Aceleración=0.75g (Seno)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

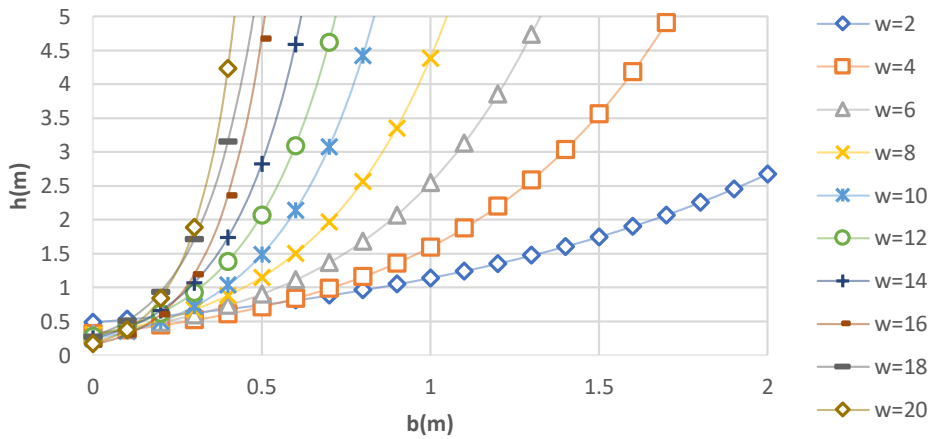
w	a _w	b _w
2	0.4396	1.004
4	0.3443	1.6879
6	0.3628	2.0249
8	0.393	2.5288
10	0.2666	3.8985
12	0.3143	4.2125
14	0.3051	5.4188
16	0.4165	4.9377
18	0.2245	7.7396
20	0.2226	8.3096

Equi-Aceleración=0.8g (Seno)



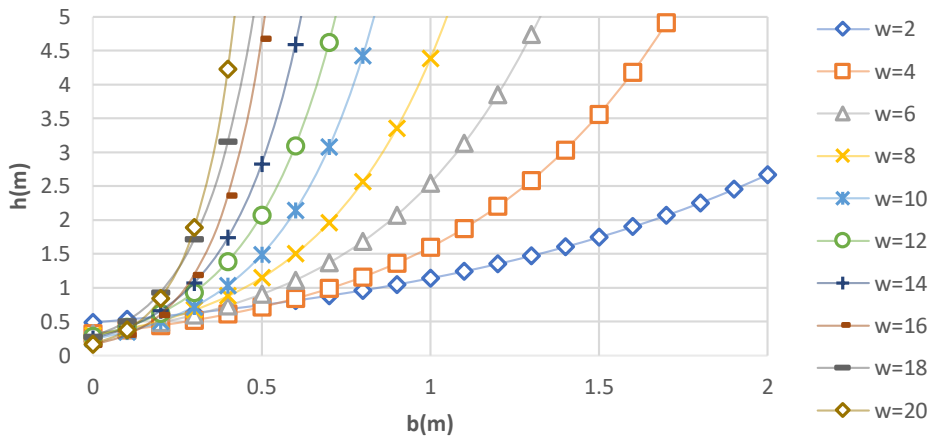
w	a _w	b _w
2	0.3741	1.101
4	0.285	1.7502
6	0.3156	2.2118
8	0.2475	3.1086
10	0.2513	3.8573
12	0.2806	4.3134
14	0.2002	5.7403
16	0.2073	6.2459
18	0.301	6.3005
20	0.262	7.7046

Equi-Aceleración=0.85g (Seno)



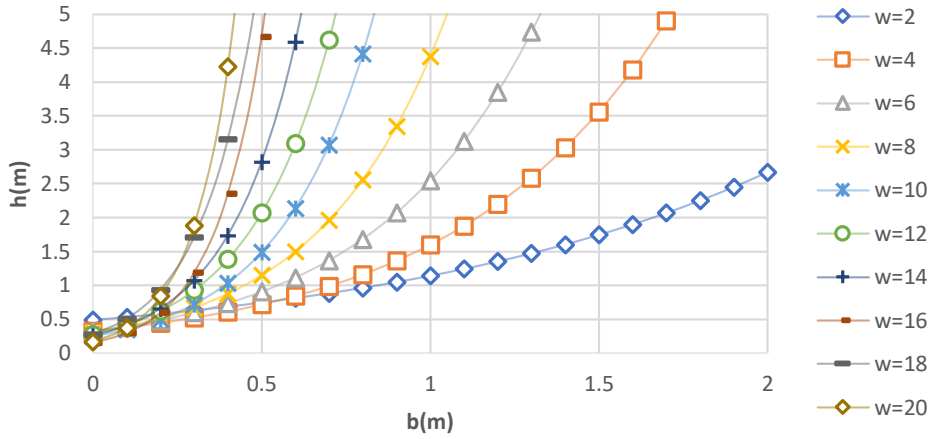
w	a _w	b _w
2	0.336	1.1385
4	0.3518	1.6243
6	0.6402	1.5762
8	0.557	2.1303
10	0.297	3.4683
12	0.335	3.9262
14	0.2579	5.204
16	0.2997	5.6844
18	0.1937	8.5306
20	0.5518	5.3601

Equi-Aceleración=0.9g (Seno)



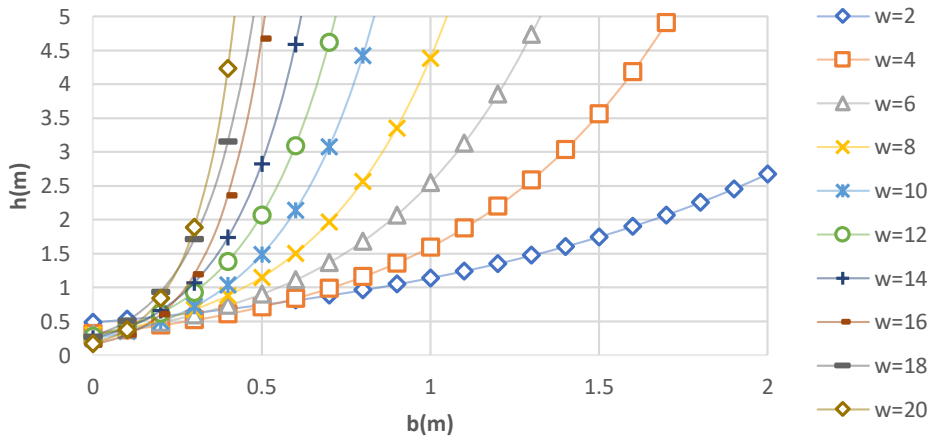
w	a _w	b _w
2	0.3848	1.0603
4	0.2992	1.6752
6	0.3057	2.1406
8	0.2702	2.8503
10	0.2255	4.0324
12	0.2915	4.0018
14	0.2425	5.2047
16	0.197	5.9747
18	0.1559	7.9009
20	0.1706	8.84

Equi-Aceleración=0.95g (Seno)

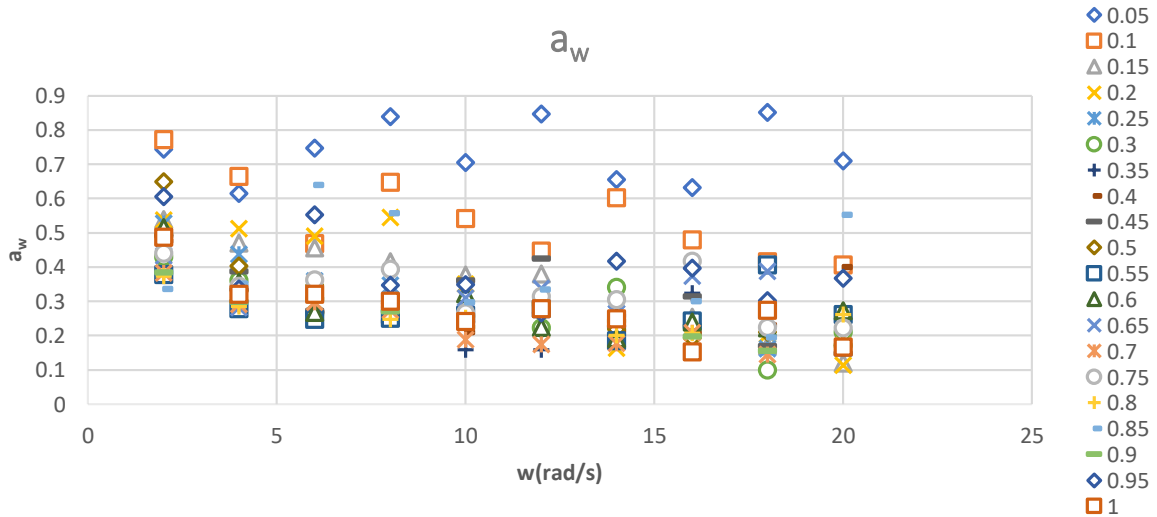


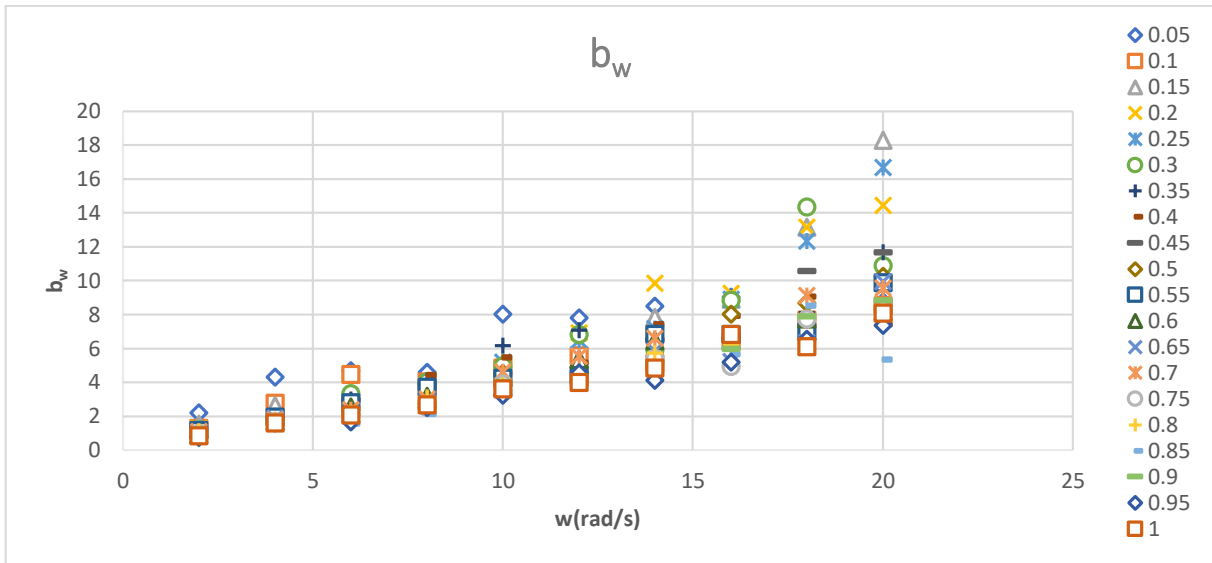
w	a _w	b _w
2	0.6045	0.7739
4	0.3361	1.6108
6	0.5528	1.6612
8	0.3463	2.5268
10	0.3484	3.2445
12	0.2656	4.5631
14	0.4168	4.1309
16	0.396	5.2083
18	0.3025	6.5609
20	0.3667	7.3583

Equi-Aceleración=1g (Seno)



w	a _w	b _w
2	0.4867	0.8511
4	0.3208	1.6044
6	0.3203	2.072
8	0.3003	2.6797
10	0.241	3.6361
12	0.2777	4.0159
14	0.2487	4.858
16	0.1523	6.8468
18	0.2737	6.112
20	0.1669	8.0794

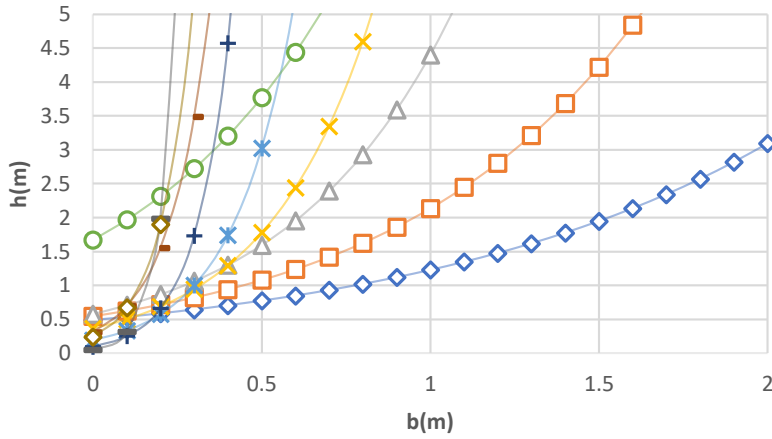




Tipo de Movimiento: Seno		
Ajuste exponencial: $y=c*\exp(d*x)$		
Equi-Aceleración	p	q
0.05	0.0011	0.7226
0.1	-0.0158	0.7178
0.15	-0.0226	0.5887
0.2	-0.0261	0.6243
0.25	-0.0177	0.4999
0.3	-0.0116	0.3955
0.35	-0.0081	0.3561
0.4	-0.0052	0.3418
0.45	-0.0133	0.4499
0.5	-0.02	0.5219
0.55	-0.0011	0.2906
0.6	-0.0112	0.4145
0.65	-0.0051	0.3808
0.7	-0.0111	0.353
0.75	-0.0083	0.4202
0.8	-0.0047	0.3242
0.85	-0.0052	0.4396
0.9	-0.0106	0.3707
0.95	-0.0092	0.4946
1	-0.0126	0.4177

Tipo de Movimiento: Seno		
Ajuste lineal: $fx+g$		
Equi-Aceleración	f	g
0.05	2.9527	0.0654
0.1	1.8718	0.0809
0.15	1.3835	0.1237
0.2	1.0632	0.1398
0.25	1.1324	0.1357
0.3	1.3024	0.1215
0.35	1.3833	0.1109
0.4	1.4031	0.105
0.45	0.8301	0.1342
0.5	0.9979	0.1276
0.55	1.312	0.1043
0.6	1.0994	0.1135
0.65	1.1216	0.1068
0.7	1.1443	0.1166
0.75	1.0246	0.1106
0.8	1.1795	0.1019
0.85	1.0057	0.1054
0.9	1.0572	0.1117
0.95	0.8827	0.114
1	0.9625	0.1136

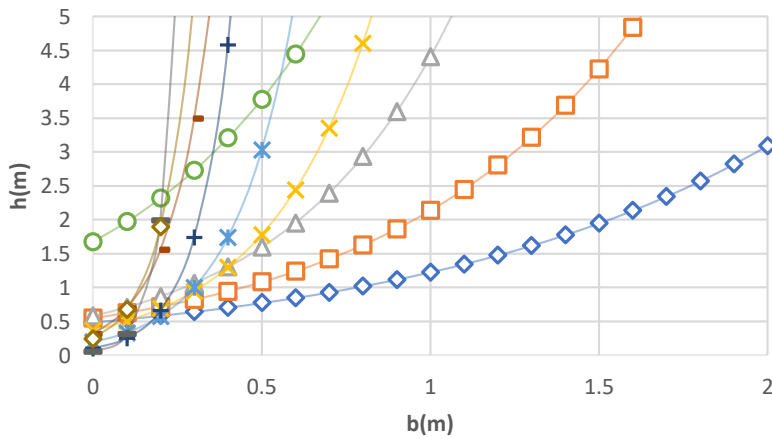
Equi-Aceleración=0.05g (MSAV)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◆ w=20

w	a _w	bw
2	0.5159	1.8144
4	0.383	4.9454
6	0.5493	5.5046
8	0.6348	5.8067
10	0.2541	10.902
12	0.3771	12.397
14	0.7791	8.4078
16	0.2917	16.582
18	0.4198	20.153
20	0.676	13.079

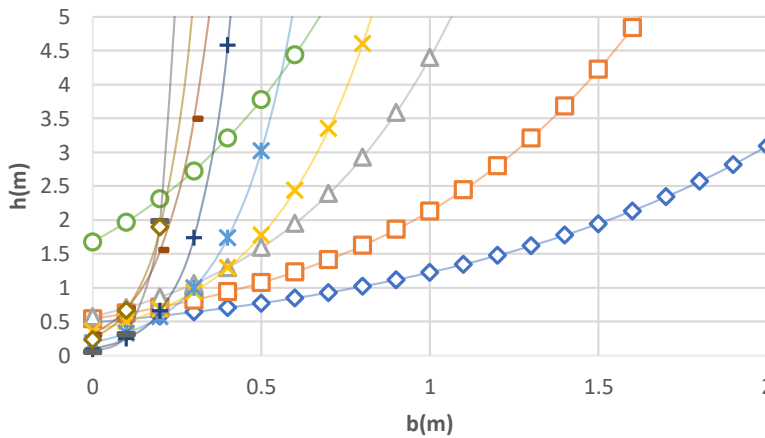
Equi-Aceleración=0.1g (MSAV)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◆ w=20

w	a _w	bw
2	0.4998	1.5025
4	0.3871	3.0778
6	0.2722	5.6307
8	0.3194	6.6805
10	0.3294	7.9923
12	0.5232	5.6848
14	0.5706	6.1167
16	0.4228	11.806
18	0.9499	6.4513
20	0.1141	23.394

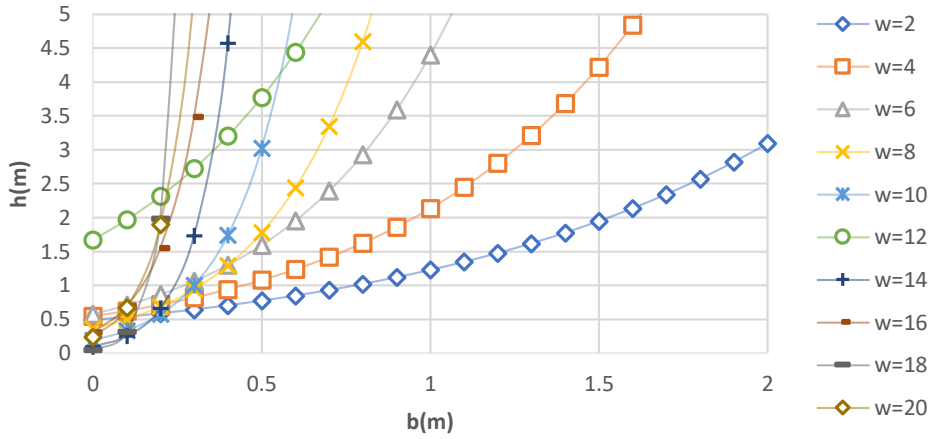
Equi-Aceleración=0.15g (MSAV)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◆ w=20

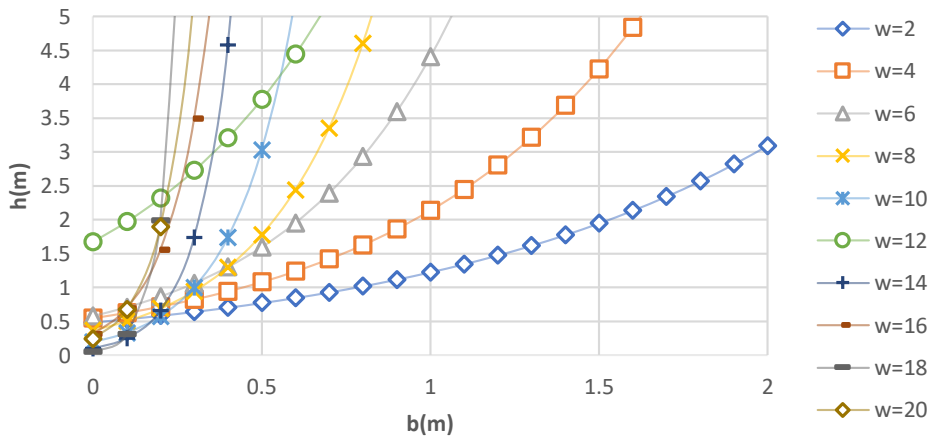
w	a _w	bw
2	0.4208	1.4181
4	0.3396	2.5867
6	0.2991	3.891
8	0.4973	3.8977
10	0.3081	6.0433
12	0.5421	6.1095
14	0.2005	12.065
16	0.3718	8.2782
18	0.4084	8.2855
20	0.3631	9.694

Equi-Aceleración=0.2g (MSAV)



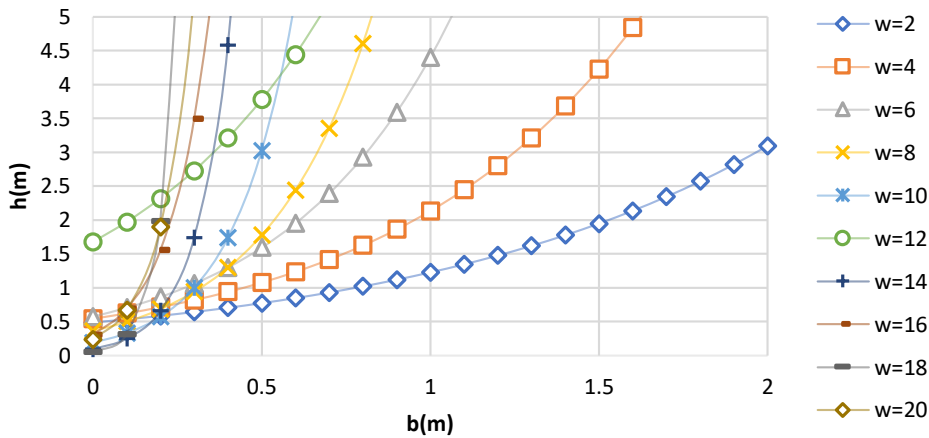
w	a _w	bw
2	0.4401	1.2565
4	0.3165	2.4296
6	0.3521	3.3287
8	0.2389	5.2707
10	0.3744	4.979
12	0.2898	6.9763
14	0.2109	10.393
16	0.3203	8.9497
18	0.2192	12.164
20	0.477	6.7736

Equi-Aceleración=0.25g (MSAV)



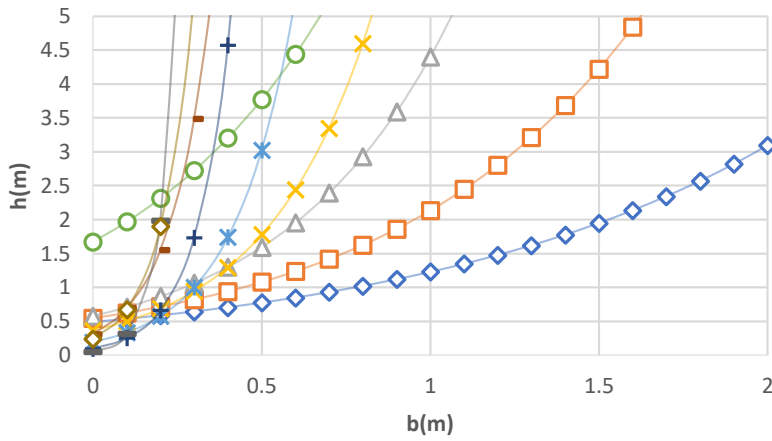
w	a _w	bw
2	0.4801	1.0945
4	0.2673	2.4175
6	0.2559	3.6025
8	0.2262	5.0559
10	0.2431	6.0465
12	0.261	6.381
14	0.5257	5.051
16	0.236	11.034
18	0.1582	13.481
20	0.2142	14.166

Equi-Aceleración=0.3g (MSAV)



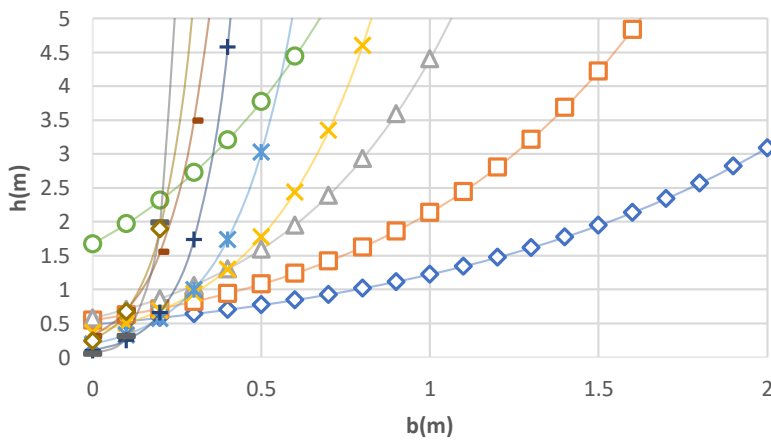
w	a _w	bw
2	0.412	1.1928
4	0.2641	2.3303
6	0.1978	3.9273
8	0.302	4.1458
10	0.2123	6.3422
12	0.234	6.5583
14	0.3981	5.7169
16	0.1796	10.236
18	0.2259	12.363
20	0.5968	8.2935

Equi-Aceleración=0.35g (MSAV)



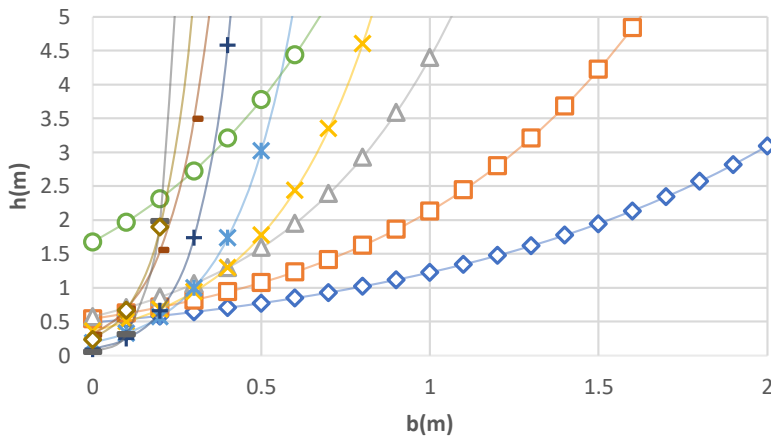
w	a _w	b _w
2	0.3879	1.1777
4	0.2345	2.4725
6	0.3759	2.7127
8	0.2429	4.1551
10	0.2349	5.4817
12	0.2017	6.9934
14	0.1561	10.315
16	0.2414	8.2835
18	0.261	9.9027
20	0.4011	9.5681

Equi-Aceleración=0.4g (MSAV)



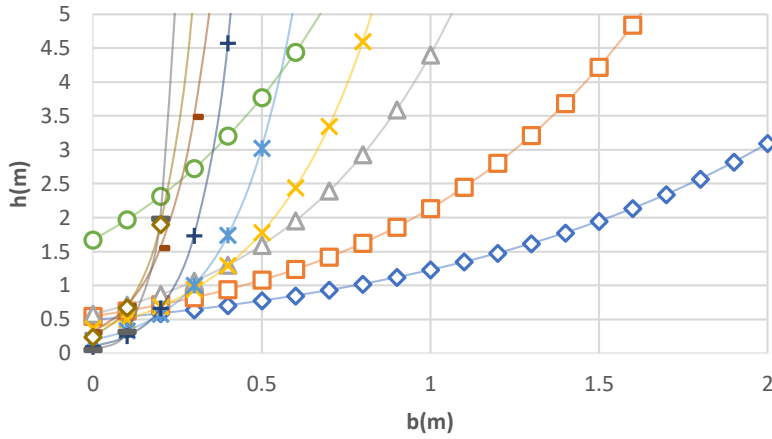
w	a _w	b _w
2	0.4219	1.0744
4	0.3589	1.9577
6	0.2217	3.4251
8	0.3439	3.7227
10	0.3531	4.3018
12	0.3442	5.126
14	0.2011	8.2591
16	0.2628	8.6069
18	0.2368	10.547
20	0.2258	12.191

Equi-Aceleración=0.45g (MSAV)



w	a _w	b _w
2	0.4538	1.0228
4	0.2698	2.0657
6	0.2941	2.9858
8	0.2766	3.8892
10	0.2135	5.5772
12	0.2004	6.6913
14	0.2054	8.2783
16	0.179	9.6646
18	0.2447	10.202
20	0.232	12.154

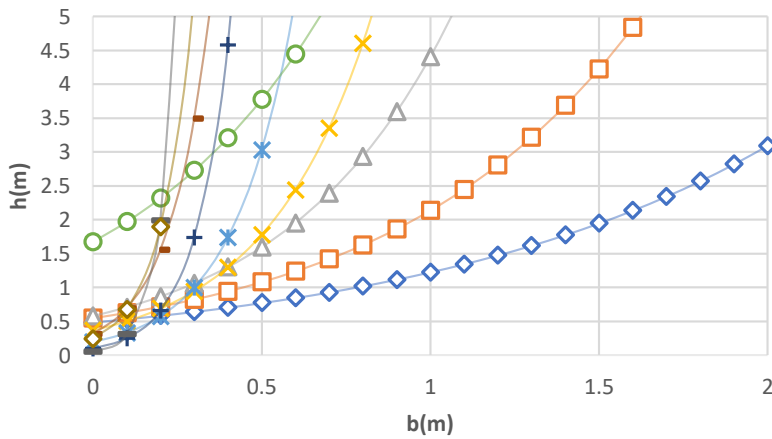
Equi-Aceleración=0.5g (MSAV)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

w	a _w	b _w
2	0.4724	0.9905
4	0.2311	2.1987
6	0.2866	2.9207
8	0.1882	4.68
10	0.2669	5.349
12	0.2451	5.9729
14	0.1806	8.5537
16	0.2523	8.4361
18	0.2512	9.5287
20	0.2455	10.255

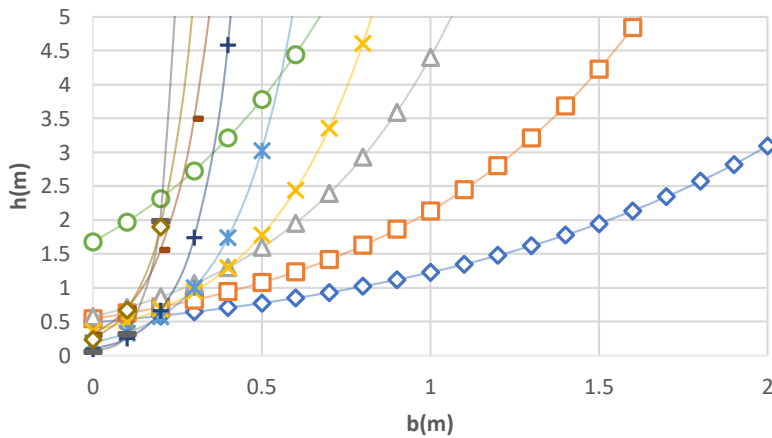
Equi-Aceleración=0.55g (MSAV)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

w	a _w	b _w
2	0.3108	1.2688
4	0.2461	2.1372
6	0.3742	2.4751
8	0.4309	3.149
10	0.328	4.5093
12	0.1645	8.2438
14	0.1481	8.9835
16	0.2621	7.8507
18	0.2524	9.8442
20	0.513	7.0792

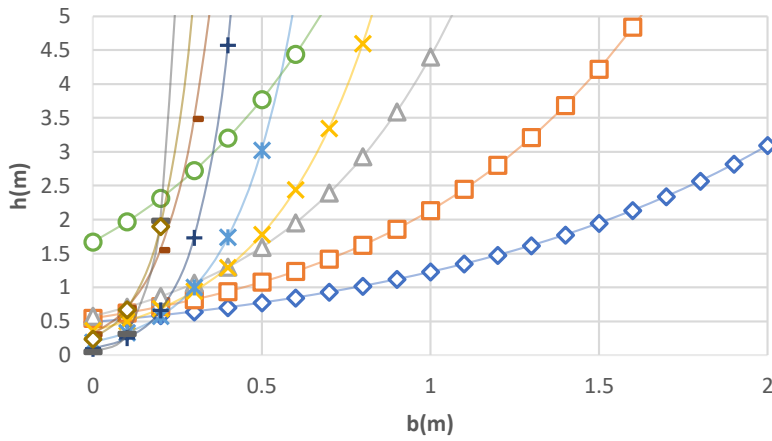
Equi-Aceleración=0.6g (MSAV)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

w	a _w	b _w
2	0.4936	0.9472
4	0.3267	1.8309
6	0.4433	2.2225
8	0.3929	3.0561
10	0.3703	4.1474
12	0.2331	5.7587
14	0.6485	4.1342
16	0.1051	11.253
18	0.1555	13.174
20	0.1622	13.876

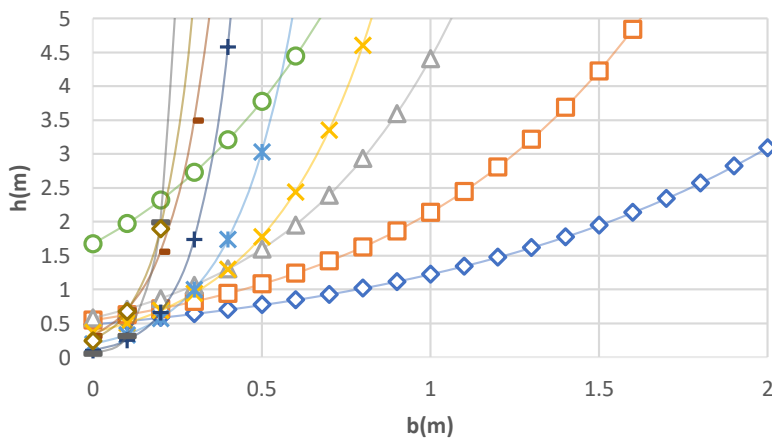
Equi-Aceleración=0.65g (MSAV)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- ▬ w=18
- ◇ w=20

w	a _w	bw
2	0.3202	1.2299
4	0.2983	1.9053
6	0.3336	2.6203
8	0.6299	2.3916
10	0.1839	5.2984
12	0.1598	7.0224
14	0.1503	8.9092
16	0.2444	8.7027
18	0.2744	9.4446
20	0.2836	9.892

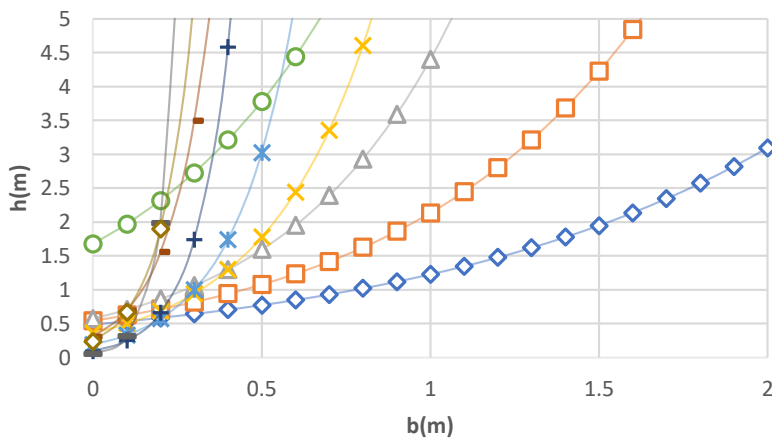
Equi-Aceleración=0.7g (MSAV)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- ▬ w=18
- ◇ w=20

w	a _w	bw
2	0.3383	1.2095
4	0.4529	1.5146
6	0.3918	2.2973
8	0.4959	2.7486
10	0.6474	2.7549
12	0.4276	4.5794
14	0.3819	5.1876
16	0.1871	9.4383
18	0.1472	12.36
20	0.1514	12.04

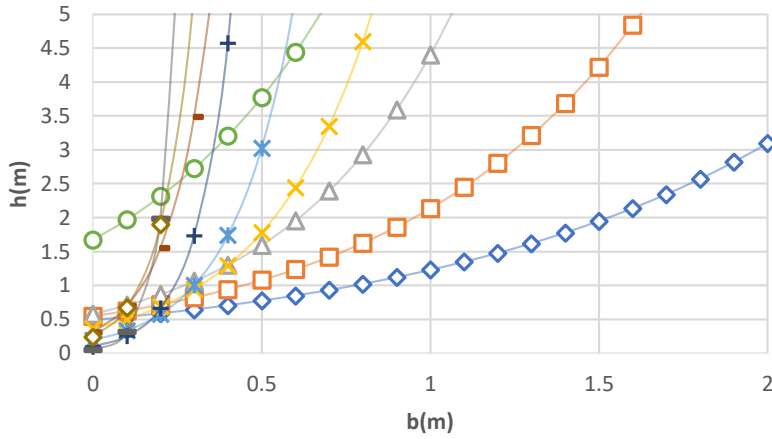
Equi-Aceleración=0.75g (MSAV)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- ▬ w=18
- ◇ w=20

w	a _w	bw
2	0.4218	1.0494
4	0.5672	1.321
6	0.5662	1.9026
8	0.386	3.0657
10	0.2667	4.4709
12	0.9214	3.5852
14	0.2891	6.8982
16	0.4885	5.3389
18	0.1178	13.058
20	0.1912	11.578

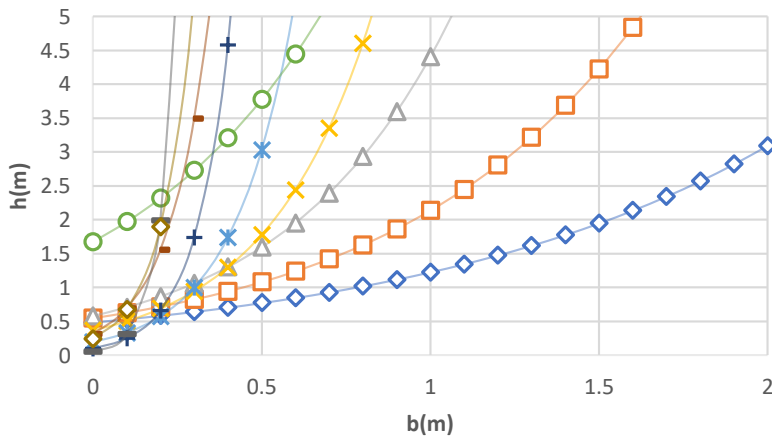
Equi-Aceleración=0.8g (MSAV)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

w	a _w	b _w
2	0.3962	1.1127
4	0.6572	1.1661
6	0.6598	1.7385
8	0.4231	2.8535
10	0.3749	4.0172
12	0.4407	4.4837
14	1.1141	2.6115
16	0.1603	9.1087
18	0.2074	10.704
20	0.4102	7.7873

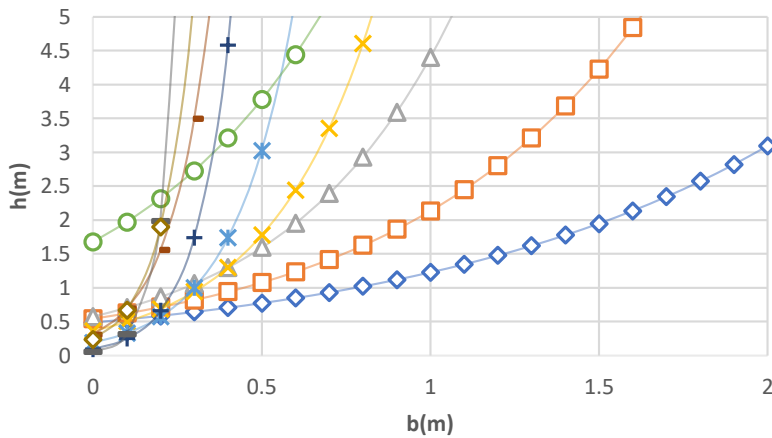
Equi-Aceleración=0.85g (MSAV)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

w	a _w	b _w
2	0.4524	1.0069
4	0.7266	1.1349
6	0.455	2.165
8	0.3095	3.4873
10	0.5798	3.2013
12	0.391	4.7137
14	0.2587	7.1605
16	0.0742	14.321
18	0.0623	16.843
20	0.5427	6.5377

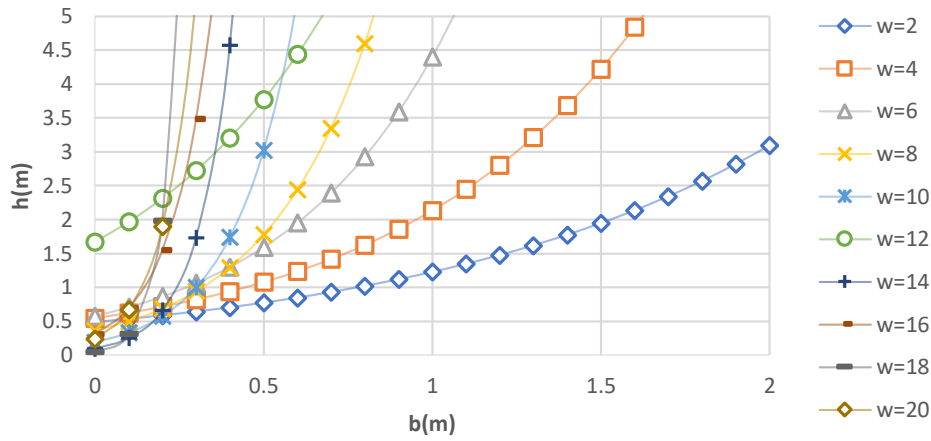
Equi-Aceleración=0.9g (MSAV)



- ◇ w=2
- w=4
- △ w=6
- × w=8
- * w=10
- w=12
- + w=14
- w=16
- w=18
- ◇ w=20

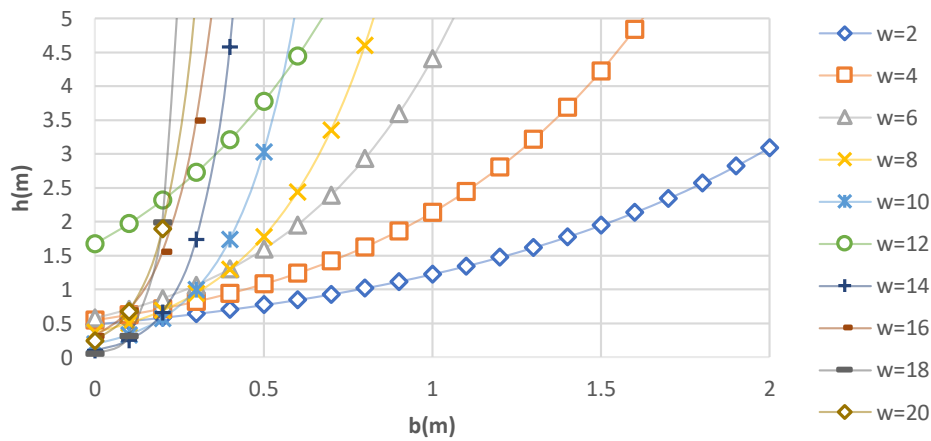
w	a _w	b _w
2	0.6346	0.7566
4	0.7323	1.1038
6	0.3707	2.4511
8	0.5531	2.5473
10	0.6202	2.9055
12	0.9394	2.832
14	0.7966	2.9828
16	0.4647	6.2553
18	0.3326	8.6807
20	0.151	13.251

Equi-Aceleración=0.95g (MSAV)

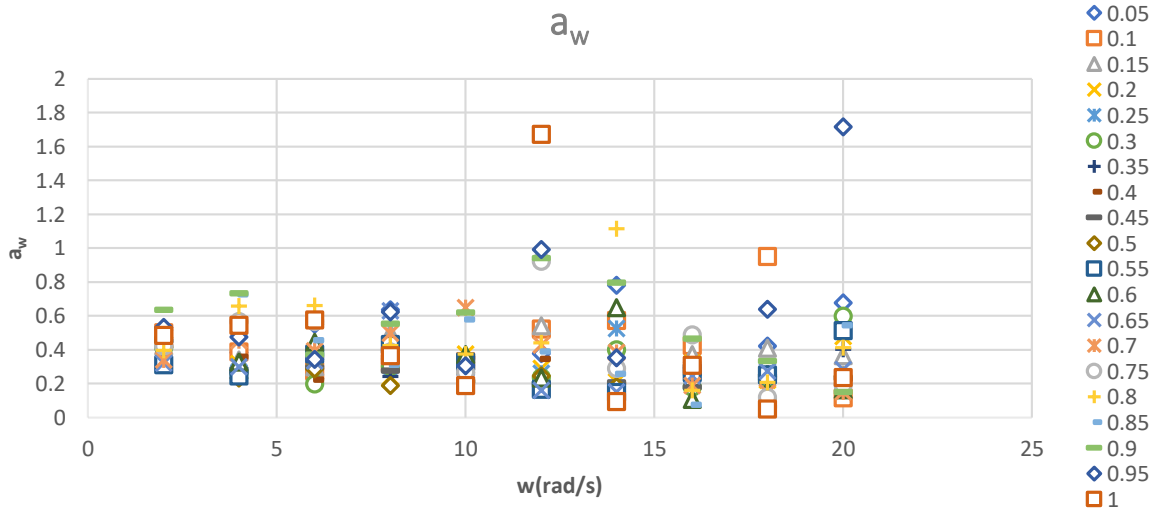


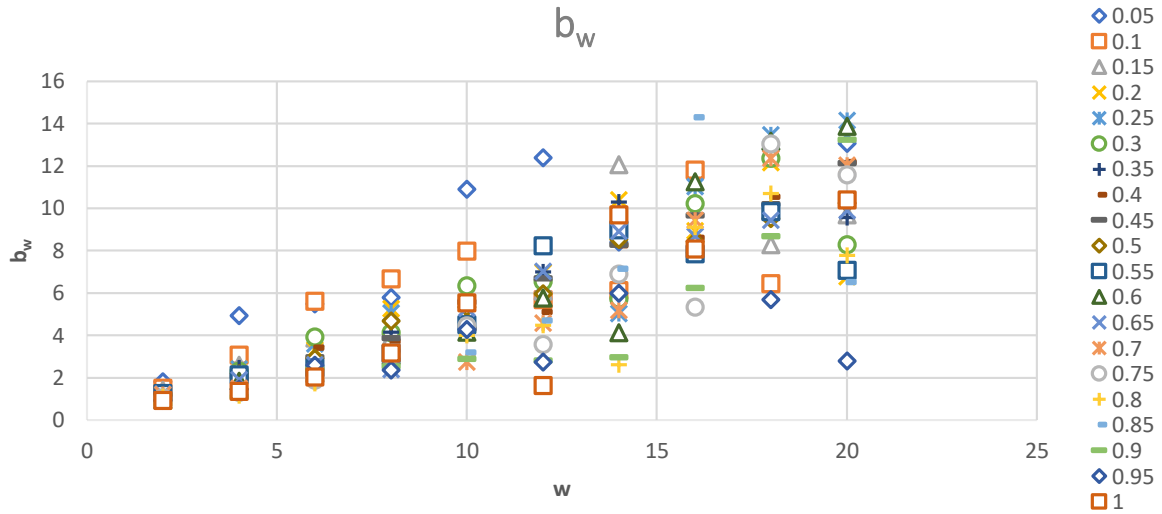
w	a _w	b _w
2	0.5324	0.9417
4	0.4747	1.4541
6	0.3413	2.5851
8	0.6223	2.3683
10	0.3031	4.2806
12	0.9904	2.7581
14	0.3503	5.9881
16	7.594	4.365
18	0.6388	5.6909
20	1.7153	2.7952

Equi-Aceleración=1g (MSAV)



w	a _w	b _w
2	0.4854	0.9256
4	0.5445	1.3655
6	0.5758	2.0337
8	0.3635	3.1728
10	0.189	5.5447
12	1.6725	1.627
14	0.0947	9.6954
16	0.3078	8.093
18	0.049	18.507
20	0.2361	10.415





Tipo de movimiento: MSAV				
Ajuste polinomial de 3 ^{er} grado: $y=e+fx+gx^2+hx^3$				
Equi-aceleración	e	f	g	h
0.05g	-0.0118	0.3881	-0.0385	0.0010
0.1g	0.1298	0.1909	-0.0131	0.0002
0.15g	0.0413	0.2834	-0.0269	0.0007
0.2g	-0.0057	0.3702	-0.0409	0.0012
0.25g	0.1202	0.1640	-0.0103	0.0001
0.3g	0.0407	0.2489	-0.0267	0.0008
0.35g	0.0537	0.2214	-0.0209	0.0005
0.4g	0.0913	0.1697	-0.0139	0.0003
0.45g	0.1104	0.2211	-0.0206	0.0005
0.5g	0.0975	0.1903	-0.0196	0.0005
0.55g	0.0645	0.1921	-0.0176	0.0005
0.6g	0.0562	0.2856	-0.0305	0.0009
0.65g	0.0174	0.2728	-0.0279	0.0007
0.7g	0.0360	0.2499	-0.0233	0.0006
0.75g	0.0626	0.2721	-0.0285	0.0008
0.8g	0.0940	0.2419	-0.0213	0.0005
0.85g	-0.0705	0.4189	-0.0423	0.0011
0.9g	0.1282	0.1934	-0.0133	0.0002
0.95g	0.5541	-0.3477	0.0699	-0.0025
1g	-0.1223	0.4910	-0.0473	0.0012

Tipo de movimiento: MSAV		
Ajuste exponencial: $y=p*\exp(q*x)$		
Equi-aceleración	p	q
0.05g	1.5063	0.1258
0.1g	1.1919	0.1253
0.15g	1.0605	0.1135
0.2g	0.8596	0.1335
0.25g	0.8245	0.1328
0.3g	0.9907	0.1112
0.35g	0.5778	0.158
0.4g	0.871	0.1236
0.45g	0.7266	0.1326
0.5g	0.9088	0.1199
0.55g	0.9739	0.1031
0.6g	0.6442	0.1476
0.65g	0.6824	0.1479
0.7g	0.711	0.1304
0.75g	0.6574	0.143
0.8g	0.6283	0.1384
0.85g	0.568	0.1419
0.9g	0.6744	0.1204
0.95g	0.9206	0.0837
1g	0.4677	0.1592

ANEXO 13

